



Examensarbete
Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Energikartläggning vid biogasanläggningen, Kungsängens gård

*Energy mapping at the biogas plant, Kungsängens
gård*

Mats Andersson

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Mats Andersson

Energikartläggning vid biogasanläggningen, Kungsängens gård
Energy mapping at the biogas plant, Kungsängens gård

Handledare: Gunnar Hagsköld, Uppsala Vatten och Avfall AB
Ämnesgranskare: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU
Examinator: Tord Johansson, institutionen för energi och teknik, SLU
EX0269, Examensarbete 30 hp, Avancerad E, teknik
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 270 hp

Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
ISSN 1654-9392
2011:01

Uppsala 2011

Nyckelord: energikartläggning, energieffektivisering, biogas, biogasanläggning, energianalys

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Abstract

The purpose of this thesis was to make an energy survey and quantify energy flows of individual unit operations associated with the biogas production in Uppsala Vatten och Avfall AB:s biogas plant, located at Kungsängens gård. Moreover, large consumers of energy would be identified and analyzed. The objective of this energy survey was to obtain a detailed understanding of the energy use in the biogas production.

The energy survey was divided into two parts: electricity and heat. Each part was treated separately and with somewhat different approach. To estimate the electricity usage during the project the rated power of each selected unit operation was noted and multiplied with the measured time of usage. By doing that the total amount of energy consumed is obtained.

During the project a total amount of 152 kWh/ton electricity was used. The 12 largest electricity consumers had a combined usage of 106 kWh/ton, corresponding to 70 % .

The heat survey was subdivided into hot water and steam. Hot water is used to keep the biogas digesters and facilities warm. Steam is exclusively used in the heat pretreatment.

Thermal energy consumption was as following:

- Keeping the biogas digester warm consumed close to 20 % of the total heating demand, corresponding to 40,8 kWh/ton.
- Heat pretreatment accounted for 62 % of the total heating demand, corresponding to 129 kWh/ton.
- Heating demand for other staff facilities accounted for 18 % of the total heating demand, corresponding to 37,7 kWh/ton.

Sammanfattning

Syftet med detta examensarbete var att kartlägga och kvantifiera energiflöden för enskilda enhetsoperationer vid Uppsala Vatten och Avfall AB:s biogasanläggning vid Kungsängens gård samt att identifiera de enhetsoperationer med betydande energiförbrukning. I projektet utreddes elektricitets- respektive värmeåtgången separat. Målet med energikartläggningen är att få en detaljerad bild över energianvändningen i anläggningen. Utifrån energikartläggningen kan vidare diskussioner kring energibesparande åtgärder föras.

Arbetet avgränsades till att kartlägga energiåtgången vid produktionen av rågas och utlämnade således all energianvändning som inte geografiskt kopplas till biogasanläggningen. Därmed analyserades varken uppgradering av rågasen eller transporter rörande produktionen.

Biogasanläggningen vid Kungsängens gård har två rötkammare, varav endast den ena var i drift under projektets gång. Biogasprocessen är totalomblandad och termofil. Röttingsråvaran som tas emot består bl.a. av hushållsavfall, livsmedelsavfall och slakteriavfall. Innan rötning av materialet krävs olika former av förbehandling, exempelvis malning och värmebehandling.

En anpassad metodmall för hur energikartläggningen skulle genomföras togs fram genom en litteraturstudie. Metodmallen innehöll fyra steg: överblick, mätning, analys samt utvärdering. I första steget samlades information om anläggningens utformning samt ingående enhetsoperationer. Övergripande information om i vilken form som energi tillförs anläggningen och var i processen den används sammanställdes. Informationen visualiserades genom olika blockscheman över processen. Utifrån denna information identifierades de energiflöden som krävde mätning. Under steg två genomfördes dessa mätningar. Steg tre var att analysera de utförda mätningarna. I steg fyra drogs slutsatser av analyserna.

För att erhålla värden som är jämförbara över tid togs relevanta nyckeltal fram. En relevant och över tid jämförbar enhet bedömdes vara kWh/ton. Detta medförde att även vikten på mottaget substrat noterades under mätperioden.

Kartläggning av elektricitet gjordes genom att inventera märkeffekten på anläggningens enhetsoperationer. Vilka enhetsoperationer som var intressanta för energikartläggningen avgjordes utifrån den övergripande informationsinsamlingen samt dialog med personal på anläggningen. Utöver inventeringen av märkeffekten loggades även drifttiden för respektive enhetsoperation. Genom multiplikation av märkeffekt samt drifttid erhöles en uppskattning av elenergiförbrukningen under mätperioden.

Total elenergianvändning under mätperioden var 152 kWh/ton. De 12 största elförbrukarna stod under mätperioden för ca 70 % av den totala elförbrukningen motsvarande 106 kWh/ton.

Värmekartläggningen delades upp i två kategorier: varmvatten och ånga. All värmeenergi som tillförs processen levereras av anläggningens ångpanna, som eldas med egenproducerad rågas samt olja. Varmvattnet används till att varmhålla rötkammaren samt varmhållning av anläggnings lokaler samt personalutrymmen. Ångan används endast i hygieniseringen, dvs. förbehandling med värme.

Den totala värmeenergiåtgången var 207 kWh/ton och fördelade sig enligt:

- Varmhållningen av rötkammaren stod för nästan 20 % av totala värmebehovet motsvarande 40,8 kWh/ton. Denna siffra gäller den rötkammaren som var i drift under projektets gång.
- Hygieniseringsprocessen stod för 62 % av det totala värmebehovet motsvarande 129 kWh/ton.
- Övrig verksamhet stod för ca 18 % av värmebehovet motsvarande 37,7 kWh/ton. Här innefattas anläggningens lokaler samt personalutrymmen
- Spillvärmes ut med rötresten var 52 % av den tillförda värmeenergin motsvarande 107 kWh/ton.

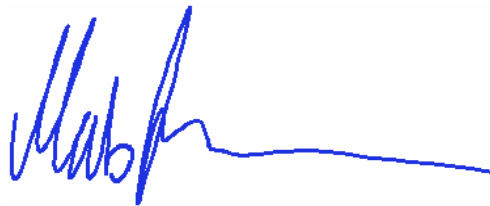
Under projektets gång gjordes även ett sidoexperiment för att bestämma rötningsråvarans specifika värmekapacitet. Syftet var att erhålla ett bättre värde än att anta motsvarande värde för vatten, som annars är vanligt förekommande i dessa sammanhang.

Förord

Detta examensarbete ingick som avslutande moment i civilingenjörsutbildningen i energisystem vid Uppsala universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Examensarbetet omfattar 30 hp och utfördes under höstterminen 2010. Arbetet har genomförts på Uppsala Vatten och Avfall AB:s biogasanläggning vid Kungsängens gård.

Tack till alla de personer som på ett eller annat sätt bidrog till detta examensarbete. Ett speciellt stort tack riktas till min handledare Gunnar Hagsköld, David Nordenberg för hjälp med teknisk utrustning och Åke Nordberg för värdefulla synpunkter.

Uppsala, januari 2011



Mats Andersson

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Varför energikartläggning?	2
1.2 Företagsbakgrund	2
1.3 Problemformulering	2
2 Syfte och mål.....	2
3 Avgränsningar och angreppssätt	2
3.1 Nyckeltal	3
4 Biogasproduktion	4
4.1 Biogasprocessen	5
4.1.1 Hydrolys	6
4.1.2 Fermentation.....	6
4.1.3 Anaerob oxidation	6
4.1.4 Metanbildning	6
4.2 Rötammaren	7
4.2.1 Omrörning	8
4.2.2 Uppvärmning.....	9
4.3 Sönderdelning av material.....	9
4.4 Hygienisering	10
4.5 Rötrest	10
5 Energikartläggning	12
6 Metod	14
7 Genomförandet.....	15
7.1 Beskrivning av anläggningen	15
7.2 Mottagning av hushållsavfall	15
7.3 Tippfickan	16
7.4 Förbehandling innan buffertankar	17
7.4.1 Pulprar	17
7.4.2 Sandavvattare	17
7.4.3 Dispergering	18
7.4.4 Sedimenteringstank	18
7.5 Lågtrycksluft	18
7.6 Högtrycksluft.....	19
7.7 Silgaller och rejektpress	20
7.8 Spolvatten.....	20
7.9 Spädning.....	21
7.10 Bufferttankar	22
7.11 Cirkulationspumpar	22
7.12 Hygienisering	23
7.13 In och ut ur rötammarna	25
7.14 Rötammare	25
7.15 Rötresttank	27
7.16 Pannan	27
7.17 Gaskylning innan gasklockan.....	28
7.18 Gasklockan	29
7.19 Gasomrörning.....	30
7.20 Leverans	30
7.21 Kartläggning av elektricitet.....	31
7.22 Kartläggning av ånga.....	32
7.23 Kartläggning av värme	32

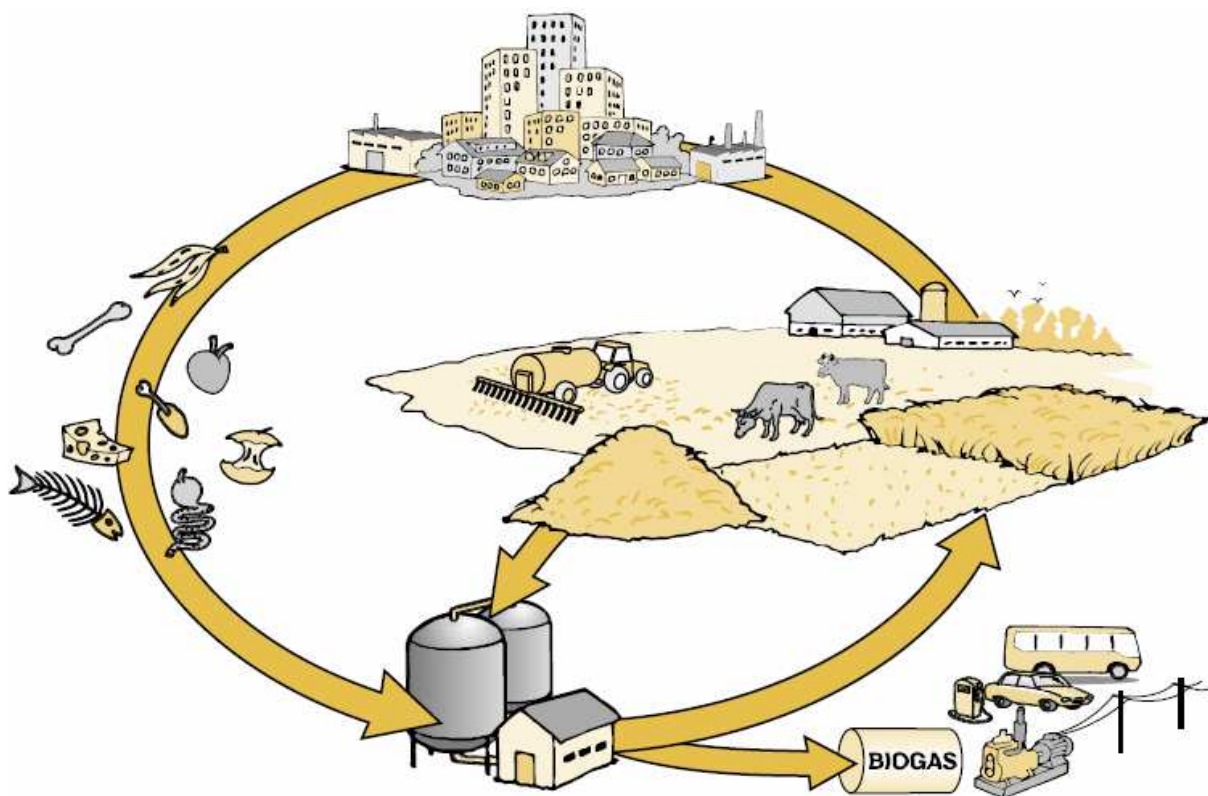
7.24	Invägning.....	34
7.25	Specifik värmekapacitet	34
7.25.1	Uppställning	34
7.25.2	Utförandet.....	35
8	Beräkningar	35
8.1	Elektricitet	35
8.1.1	Nyckeltal 1	35
8.1.2	Nyckeltal 2	36
8.2	Ånga	36
8.2.1	Ångproduktion	36
8.2.2	Nyckeltal 3	37
8.3	Värme	37
8.3.1	Värmetillförsel rötammare	37
8.3.2	Nyckeltal 4	38
8.3.3	Värmetillförsel till övrig verksamhet	38
8.3.4	Nyckeltal 5	38
8.3.5	Förlorad spillvärme	38
8.3.6	Nyckeltal 6	39
8.3.7	Värmeåtervinning vid värmeväxling av hygieniseringsprocessen.....	39
8.3.8	Värmeåtervinning vid värmeväxling av rötrest.....	40
8.4	Energiåtgång per vikt	41
8.5	Värmeförlust med gas	41
9	Resultat.....	43
9.1	Resultat elektricitetskartläggning	43
9.1.1	Nyckeltal 2	47
9.2	Resultat värmekartläggning.....	47
9.2.1	Nyckeltal 5	48
9.2.2	Nyckeltal 6	48
9.2.3	Värmeåtervinning vid värmeväxling av hygieniseringsprocessen.....	48
9.2.4	Värmeåtervinning vid värmeväxling av rötrest.....	48
9.2.5	Specifik värmekapacitet	48
9.3	Energiåtgång per vikt	49
9.4	Övergripande anläggningssiffror under mätperioden.....	49
9.4.1	Övergripande anläggningssiffror från 2009	50
11	Diskussion	51
11.1	Allmänt.....	51
11.2	Elektricitet	53
11.3	Ånga	55
11.4	Värme	56
11.5	Specifik värmekapacitet	57
12	Slutsatser	58
13	Förslag till vidare studier.....	58
13	Referenser.....	59
13.1	Skriftliga källor	59
13.2	Internetreferenser	62
13.3	Figurkällor	62
14	Bilagor.....	63
14.1	Billaga 1 – Effektinventering	63
14.2	Billaga 2 – Teori kring specifik värmekapacitet	64
14.2.1	Teori	64

14.2.2 Referensprov med vatten:.....	65
14.2.3 Före hygieniseringen	65
14.2.4 Efter Hygienisering	66
14.2.5 Efter rötammaren.....	67
14.2.6 Ts-Vs-Prov	68
14.3 Bilaga 3 – Beräkningskod	69

1 Inledning

I dagens samhällsdebatt ges ett stort utrymme åt energifrågan och då främst människans klimatpåverkan genom koldioxidutsläpp. Intresset för förnyelsebara energikällor som alternativ till olja, kol och naturgas har under de senaste åren vuxit markant. Naturvårdsverket har i en uppföljningsserie med startår 2002¹ undersökt allmänhetens kunskap och kännedom om klimatförändringar och då främst växthuseffekten. Den visar bl.a. att allmänheten i Sverige har en högre kännedom om klimatförändringar idag än vid startåret 2002. Den ökade miljömedvetenheten har bidragit till större efterfrågan på miljövänliga alternativ vid exempelvis elektricitets- och uppvärmningsavtal för hushållen. På nationell nivå finns många incitament till att satsa på förnyelsebara energikällor, med ledord som hållbarhet och trygg nationell energiförsörjning i spetsen.

Biogas är en förnyelsebar energikälla med potential till ett fullständigt kretslopp, se *Figur 1*. Förutom den möjliga energiomvandlingen av biologiskt nedbrytbar rötningsråvara, dvs. substrat, finns andra aspekter som gör biogasen till en högtintressant energikälla ur ett samhällsperspektiv. Detta speciellt sedan lagen om förbud mot deponi av organiskt avfall trädde i kraft den 1 januari 2005². En biogasanläggning kan, utöver biogasproduktionen, alltså bidra till hantering av ett avfallsproblem, vilket gör dess samhällsnytta ännu större.



Figur 1 visar en principskiss över ett fullständigt kretslopp. (Baky, Andras et al. (2006))

¹ Naturvårdsverket (2002), Naturvårdsverket (2009)

² Förordning om deponering av avfall (2001)

1.1 Varför energikartläggning?

En biogasanläggning använder energi för att producera biogasen. Denna energiåtgång bör minimeras så långt som möjligt för att maximera nyttan av energiomvandlingen. En förutsättning för detta är att ha kunskap om energiflödena i processen. Detta gäller inte bara biogasanläggningar utan även samhället i stort där energieffektiviseringar ska genomföras. Ett sätt att skaffa sig denna kunskap är genom en energikartläggning. Energitävläggningen syftar till att ge en överblick över energianvändningen och vilka delar av verksamheten som påverkar mest. Beroende på önskad upplösning av energikartläggningen kan exempelvis enhetsoperationer i anläggningen studeras. Med enhetsoperation menas i detta examensarbete en enskild energiförbrukare. Energitävläggningen kan sedan användas som underlag för beslutande om kostnadseffektiv energieffektivisering.

1.2 Företagsbakgrund

Uppsala Vatten och Avfall AB är ett kommunalägt bolag som bl.a. ansvarar för Uppsalas avfallshantering. En del av hanteringen består av att från organsikt material, så som hushållskompost, producera biogas som sedan uppgraderas till fordonsbränsle. Målet är att försörja Uppsalas stadsbussar med förnyelsebart fordonsbränsle.

Produktionen av biogas sker på biogasanläggningen på Kungsängens gård. Under 2009 togs 8 900 ton organsikt avfall emot och anläggningen producerades 1 500 000 Nm³ rågas med ett energiinnehåll på ca 6.5 kWh/Nm³. Organsikt avfall som tas emot är bl.a. organiskt hushållsavfall, livsmedelsavfall samt slakteriavfall.

1.3 Problemformulering

Vid biogasframställningen på Uppsala Vattens och Avfall AB:s anläggning vid Kungsängens gård finns behov av att få kunskap och insyn över energiflödena i processen. Detta ska införskaffas genom en energikartläggning.

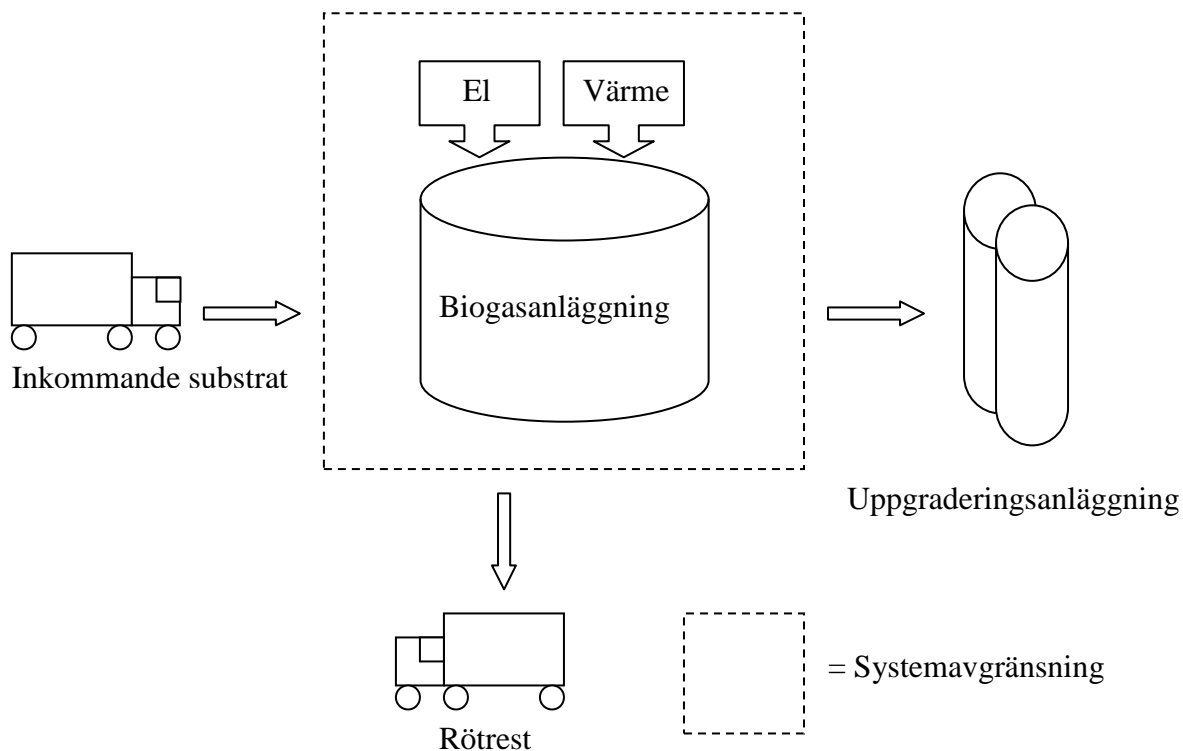
2 Syfte och mål

Examensarbetet syftar till att kartlägga och kvantifiera energiflöden för enskilda enhetsoperationer i anläggningen samt att identifiera de enhetsoperationer med betydande energiförbrukning. I projektet kommer elektricitets- respektive värmeåtgången utredas separat för att ge en tydligare överblick.

Målet med energikartläggning är att få en detaljerad bild över energianvändningen i anläggningen. Genom att studera anläggningens ingående enhetsoperationer och tillhörande energiförbrukning skapas ett underlag för vidare diskussion kring energibesparande åtgärder.

3 Avgränsningar och angreppssätt

Uppsala Vatten och Avfall AB består av flera verksamheter. Detta examensarbete avgränsas till att kartlägga energiflödena vid framställningsprocessen av biogas. Därmed utesluts distributions- och uppgraderingsverksamheten som geografiskt inte hör ihop med biogasanläggningen vid Kungsängens gård, se *Figur 2*. Vidare kommer inte kontorsutrymmen eller andra personalrelaterade faciliteter undersökas noggrannare än att de ingår i kategorin "övrig energi".



Figur 2. Systemavgränsning för examensarbetet.

Inför examensarbetet utfördes en litteraturstudie innehållande för ämnet relevant litteratur. Litteratur kring energikartläggning av biogasanläggningar är kraftigt begränsat vilket gjorde att studier av liknande anläggningar, t ex. reningsverk, användes. Genom litteraturstudien utformades en metodmall bestående av fyra delsteg: överblick, mätning, analys samt utvärdering. Elenergin kartlades genom loggning av intressanta enhetsoperationers drifttid samt en märkeffektinventering. Multiplikation av drifttid och märkeffekt ger en uppskattning för elförbrukningen. Kartläggningen av värme delas in i två kategorier: ånga och varmvatten. Ångan används vid hygienisering av rötningssubstrat och varmvattnet för varmhållning av röttningskammrar och lokaler. Värmeenergiinventeringen genomförs med temperaturloggar och flödesmätning av vätska. Vidare utfördes ett sidoeperiment för att utreda rötningsråvarans specifika värmekapacitet.

3.1 Nyckeltal

För att få jämförbara värden definierades ett antal nyckeltal. Dessa nyckeltal kan jämföras över tid, men även mellan anläggningar.

Nyckeltal 1 definieras som "Elenergiåtgång för varje enhetsoperation per mottaget vikt substrat" och får enheten [kWh/ton].

Nyckeltal 2 definieras som "Elenergiåtgång i hushållsblocket per vikt substrat som tagits emot genom hushållsblocket, jämfört med total elenergiåtgång per vikt totalt mottaget substrat" och är ett dimensionslöst tal. Med "hushållsblocket" avses den mekaniska förbehandling där förpackat material skiljs från sitt emballage.

Nyckeltal 3 definieras som "Värmeenergiåtgång för att producera ånga per mottagen vikt substrat" och får enheten [kWh/ton].

Nyckeltal 4 definieras som "Värmeenergiåtgång för att varmhålla rötkammaren per mottagen vikt substrat" och får enheten [kWh/ton].

Nyckeltal 5 definieras som "Övrig värmeenergiåtgång per mottagen vikt substrat" och får enheten [kWh/ton].

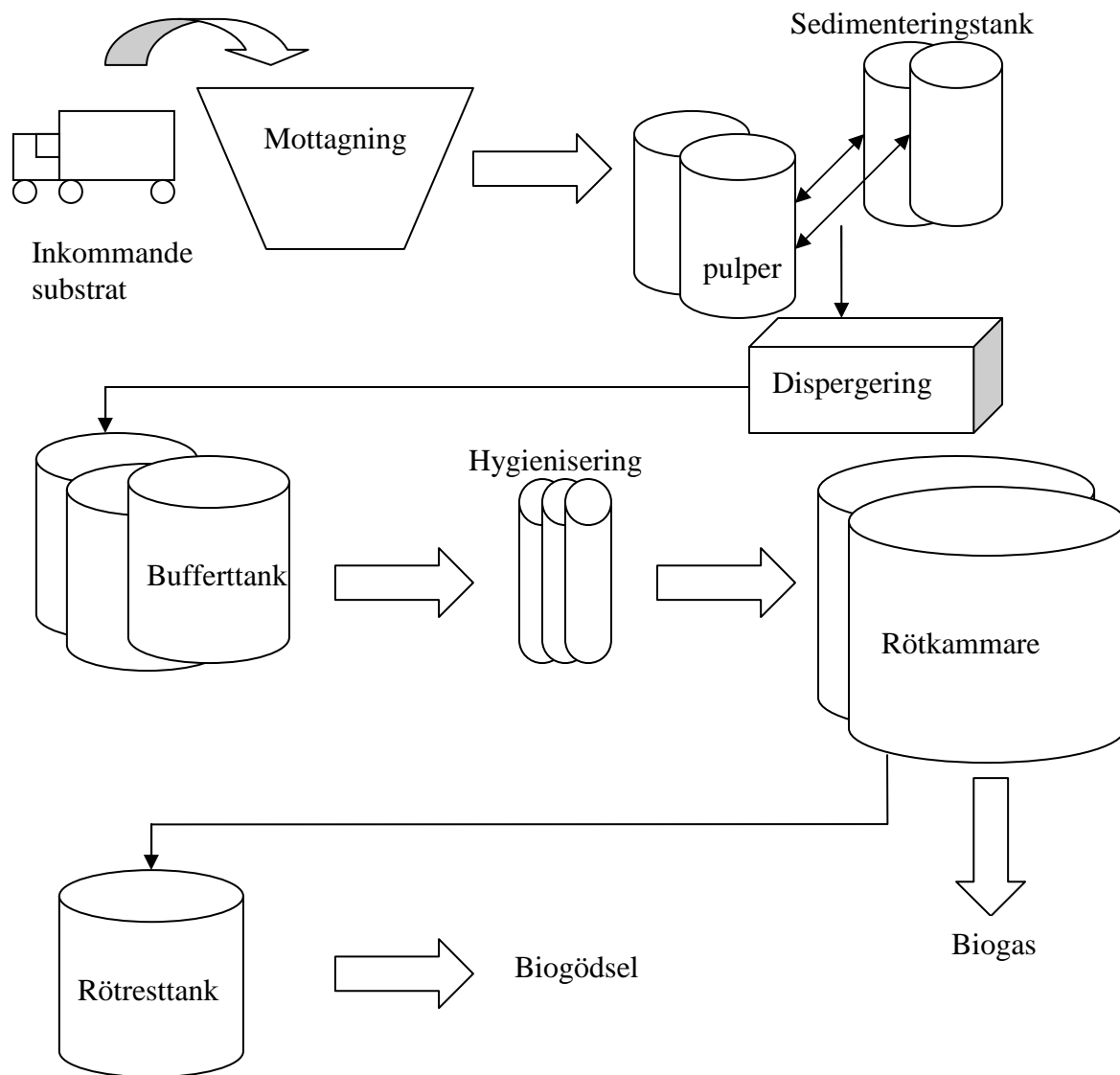
Nyckeltal 6 definieras som "Förlorad värmeenergi via rötrest per mottagen vikt substrat" och får enheten [kWh/ton].

4 Biogasproduktion

Biogasen är ett område på frammarsch i Sverige, från år 2006 till 2008 ökade totalt den nationella biogasproduktionen med 146 GWh. Sett till den totala energianvändningen i Sverige om ca 400 TWh³ är produktionen av biogas inte så betydande med ca 1,4 TWh i årlig produktion⁴. Att intresset ökar beror icke minst på att biogasen är förnyelsebar och koldioxidneutral. Inledningsvis nämndes att biogasen kan erbjuda en dellösning på avfallshanteringen samtidigt som ett miljövänligt energiutbyte kan ske. Förutom detta samhällsrelaterade argument finns även en rad tekniska argument till varför biogasen är värd att satsa på. Dess likheter med naturgasen gör att befintlig och mogen teknik redan existerar, både i distributions- och användningsledet. Detta är naturligtvis en fördel för att ett "nytt" energislag ska ta sig in på marknaden. I en biogasanläggning enligt *Figur 3* tillsätts värme i hygienisering samt varmhållning via varmvattenvärmeväxling i rötkamrarna. Övriga processdelar använder endast elektricitet.

³ Energimyndigheten, Svenska Gasföreningen och SGBF (2010)

⁴ Energimyndigheten(2010a)



Figur 3. Principskiss över en biogasanläggning med en våt, totalomblandad process. Observera att designen såväl som ingående enhetsoperationer skiljer sig åt mellan anläggningar. Skissen är gjord med Uppsalas biogasanläggning som utgångspunkt. Pilarna representerar huvudflöden genom anläggningen och kan även de variera.

4.1 Biogasprocessen

Biogasproduktion är en biologisk process som sker i olika naturliga miljöer i stora kvantiteter runt om i hela världen. Jämförelsevis kan nämnas att den naturliga biogasproduktionen står för ca 10% av den globala kolomsättningen⁵. För att biogasbildning ska förkomma krävs att vissa grundförutsättningar är uppfyllda, däribland tillräcklig ansamling av organsikt material samt en anaerob miljö. Utöver dessa betingelser krävs närvaro av olika grupper av mikrober för att biogasbildning ska uppstå. Detta sker exempelvis i våtmarker men även i idisslande djurs vom. Denna naturliga process efterliknas på konstgjord väg i en biogasanläggning⁶.

⁵ Energimyndigheten, Svenska Gasföreningen och SGBF (2010)

⁶ Thyselius, Lennart (1982)

Oavsett om biogasproduktionen sker på naturlig väg eller under kontrollerad former i en biogasanläggning så är omvandlingsprocessen från organsikt substrat till biogas densamma. Den främsta skillnaden är just möjligheten till att kontrollera och optimera processen. Parametrar som kan regleras är exempelvis substratsammansättning och temperatur⁷.

Karakteristiskt för biogasprocessen är de olika omvandlingsstegen av det ursprungliga substratet till metan. Processen kan delas upp i fyra steg⁸ och beskrivs nedan mycket översiktligt:

1. Hydrolys
2. Fermentation
3. Anaerob oxidation
4. Metanbildning

4.1.1 Hydrolys

I detta steg bryts det organiska materialet, dvs. proteiner, kolhydrater och fetter, ned. Nedbrytningen sker med hjälp av enzymer som närvarande mikroorganismer utsöndrar. Olika enzymer används för nedbrytning av proteiner, kolhydrater respektive fetter. Nedbrytningen i detta steg sker extracellulärt, dvs. utanför själva mikroorganismen. Anledningen till denna extracellulära nedbrytning är att molekylstrukturerna hos det organiska materialet är för stora för att mikroorganismerna ska kunna ta in dem⁹.

4.1.2 Fermentation

Nedbrytningsprodukterna från hydrolysen, exempelvis aminosyror och sockerarter, kan nu tas upp av fermenterande mikroorganismer. Dessa mikroorganismer är delvis samma som i hydrolysstegets men här kan även andra släkten förekomma. Genom fermentationen bildas olika organiska syror, alkoholer, vätgas, koldioxid etc. Fermentationsprodukter som exempelvis fettsyror och alkoholer kallas för mellan- eller intermediära produkter och kan inte direkt ombildas till metan. Dessa måste brytas ned i nästa steg, anaerob oxidation.

4.1.3 Anaerob oxidation

Fermentationsprodukterna får föregående steg bryts ned via anaeroba oxidationsprocesser. Denna process är beroende av att mikroorganismer från nästkommande steg, metanbildningen, och från detta steg samarbetar. Av den anaeroba oxidationsprocessen bildas ättiksyra, vätgas och koldioxid.

4.1.4 Metanbildning

I detta avslutande steg bildas metanen. Även i detta steg förekommer flera olika mikroorganismer, kallade metanogener, som omvandlar främst ättiksyra (acetat), vätgas och koldioxid till metan. Andra substrat som exempelvis vissa alkoholer kan också användas vid metanomvandling. Vid metanbildningen bildas inte bara metan utan även koldioxid, och det är dessa två föreningar som utgör begreppet ”biogas”. Värt att notera är även att andra föroreningar som svavel- och kväveföreningar kan förekomma i varierande utsträckning, beroende på ursprungssubstratet och andra omgivningsfaktorer.

⁷ SGC och Avfall Sverige (2009)

⁸ SGC och Avfall Sverige (2009)

⁹ Avfall Sverige (2010)

4.2 Rötkammaren

Det finns olika metoder att driva biogasprocessen i rötkammaren. I princip finns två huvudriktningar – våt- och torrrotning. Det finns dock mellanting av dessa två. Som namnen antyder används olika mängder vätska eller spädmedia, men även andra parametrar skiljer sig åt som exempelvis förbehandling och energiåtgång för uppvärmning. Vidare kan processen köras satsvis eller kontinuerligt. Satsvis innebär att rötkammaren fylls med nytt substrat för varje rötningssats. När rötningen anses klar töms befintlig sats i rötkammaren och ersätts med en ny. Tidsperioden mellan satsbytena kan variera och beror på flera faktorer. I en kontinuerlig process matas och töms rötkammaren fortlöpande under röttningsprocessen.

Biogasprocessen kan även delas upp i olika steg, antingen i en- eller tvåstegsprocess. Enstegsprocess innebär att hela biogasprocessen, från inkommande material till metanproduktion, sker i en och samma rötkammare. I tvåstegsrotning delas processen upp mellan två rötkammare. I den första rötkammaren sker hydrolysen och fermentationen, materialet pumpas sedan vidare till den andra rötkammaren där metanproduktionen äger rum¹⁰.¹¹ Tvåstegsrotning kan även avse två sammankopplade rötkammare där hela nedbrytningsprocessen sker i varje rötkammare för sig.

Uppehållstiden är den tid som röttningsmaterialet befinner sig inne i rötkammaren. Oftast syftat uppehållstiden på HRT (Hydraulic Retention Time) vilken är den tid det tar att byta ut allt material i rötkammaren. Uppehållstiden kan även avse SRT (Solids Retention Time) vilket är den genomsnittliga tiden biomassan befinner sig i rötkammaren. I totalomblandade processer där inget rötningssubstrat återförs till processen blir $HRT=SRT$ ^{12, 13}.

Antalet och utformningen av rötkastrarna varierar i regel mellan olika anläggningar, men principen är den samma. Rötkammaren, eller reaktorn som den också kallas, ska vara en isolerad luft- och gastät behållare med omrörning, se *Bild 1*. Isoleringen är till för att temperaturen ska vara lätt att hålla konstant, både vinter- och sommartid samt för att minska energiåtgången till uppvärmning. Att rötkammaren måste vara luft- och gastät beror dels på att inget syre får tränga in och förstöra processen, dels för att ingen metan får läcka ut. Metangas är en 21 gånger mer potent växthusgas än koldioxid¹⁴.

¹⁰ SGC och Avfall Sverige (2009)

¹¹ Nordberg, Ulf, Nordberg Åke (2007)

¹² SGC och Avfall Sverige (2009)

¹³ Hellström, Daniel, Jonsson, Lena och Vallin, Lina (2009)

¹⁴ Dustan. Andrew (2002)



Bild 1 visar den nya rötammaren, i rapporten benämnd "RK2", inifrån. Foto: Åke Nordberg.

4.2.1 Omrörning

Det finns en rad olika omrörningsmetoder att tillgå, såväl mekaniska och hydrauliska som pneumatiska. De mekaniska omrörarna fungerar i princip som en långsamgående propeller, där metallarmar blandar om materialet. Omrörningsanordningen är ofta monterad ovanifrån eller snett instucken ifrån sidan. Hydraulisk omrörning sker med hjälp av pumpar. Den pneumatiska omrörningen är monterad underifrån och använder producerad biogas för att uppnå omblandning. Den färdiga biogasen trycksätts och blåses in i reaktorn varvid omblandning uppnås.

Omrörning i biogasreaktorn har flera syften^{15, 16}:

- undvika svämtäckesbildning
- undvika sedimentering
- att uppnå samma temperatur i allt substrat
- att göra allt substrat åtkomligt för mikroorganismerna

Biogasreaktors design, som ofta grundar sig på parametrar som diameter och höjd, har stor inverkar på omrörningens effektivitet och energiförbrukning. Omrörningen står för en relativt stor del av den totala energiförbrukningen, alltifrån en upp till några procent¹⁷.

¹⁵ Christersson, Kjell et al. (2009).

¹⁶ SGC och Avfall Sverige (2009)

¹⁷ Christersson, Kjell et al. (2009)

4.2.2 Uppvärmning

Biogasprocessen arbetar i olika temperaturintervall. Beroende på temperaturen i processen gynnas vissa typer av metanbildare medan andra missgynnas eller helt avdödas.

Rötningstemperaturerna kan i stort dela upp fyra olika intervall där olika grupper av mikroorganismer har sitt temperaturoptima^{18, 19, 20}:

Temperaturområde	Temperatur i °C
Psykrofil	4-25
Mesofil	25-40
Termofil	50-60
Hypertermofil	> 65

Generellt går biogasprocessen snabbare vid högre temperaturer, dock påverkar inte temperaturen metanutbytet nämnvärt, så länge temperaturen är högre än 30 °C. Under psykrofila förhållanden syns emellertid en minskning av metanutbytet²¹.

En vanlig form av biologisk nedbrytning är kompostering med tillgång till syre. Under sådana, aeroba, förhållanden kan mikroorganismerna genom cellandning använda och förbränna den energi som finns i det organiska materialet. Detta gör att värmeutveckling uppstår. Under anaeroba förhållanden, utan cellandning, kan inte denna energi frisättas utan binds istället i metanmolekylerna. Det är denna inbundna energi som sedan kan utnyttjas av människan, genom förbränning av metanen. En biogasprocess sker under anaeroba förhållanden och har därmed en liten intern värmeutveckling.

I biogasanläggningar är idag mesofila och termofila processer vanligast. Vilken process som är bäst är svårt att fastställa på generell basis, utan måste utredas för varje anläggning och dess förutsättningar. I och med att den termofila processen sker vid en högre temperatur krävs mer energi än vid mesofil rötning. Dock ska här påpekas att anläggningar som kräver värmebehandling, dvs. hygienisering, av materialet redan har varmt upp materialet långt över önskad termofil rötningstemperatur. Detta gör att substratet måste kylas ned. Nedkylningen görs med fördel genom värmeväxling så att en del av värmen kan återvinnas.

4.3 Sönderdelning av material

När det organiska materialet tas emot i anläggningen är storleksfördelningen i regel ojämn, allt ifrån mindre partiklar till sammanhängande köttbitar. Detta är inte önskvärt ur flera aspekter, bl.a. inverkar en större partikelstorlek negativt på nedbrytningsprocessen och materialet blir mer svårpumpat. Dessutom finns regelverk kring partikelstorleken som får närvara i hygieniseringsprocessen, se under rubrik ”4.4 Hygienisering”. För att homogenisera materialet samt få ned partikelstorleken används en kvarn eller dispergering. Dispergeringen river sönder materialet till mindre partiklar med hjälp av två roterande tandade tallrikar. Denna utrustning har ofta en relativt hög märkeffekt och eftersom allt material måste passera genom dispergeringen får den även en hög drifttid. Detta betyder att den bidrar med en tämligen hög energianvändning.

¹⁸ Madigan, M.T et al. (2009)

¹⁹ SGC och Avfall Sverige (2009)

²⁰ Edström, Mats och Nordberg Åke (2004)

²¹ Edström, Mats och Nordberg Åke (2004)

4.4 Hygienisering

Organsikt material delas upp i olika kategorier beroende på bedömd risknivå med avseende på smittoämnen. Kategorierna består av tre grupper, där kategori ett är högsta riskklass. I förordning EEC 1774/2002 specificeras vilka organiska material som får omhändertas i en biogas- eller komposteringsanläggning²². I förordningen anges även krav för bearbetningsmetoder av dessa material. Hygieniseringens syfte är att kraftigt reducera eller helt avdöda förekomsten av skadliga bakterier och virus.

Misstänkt sjuka djur som slaktats eller material som har kommit i kontakt med smitta måste steriliseras innan den kan tas in i rötningsprocessen. Detta görs genom uppvärmning till 133°C under 3 bars tryck i 20 minuter²³.

Lägre klassade material har ringare krav. Hygieniseringen kan även här ske genom uppvärmning, men med lägre temperatur. Andra metoder för hygienisering av material förekommer, exempelvis genom bestrålning eller kemisk behandling²⁴. Kravet för att bearbetningsmetoden genom uppvärmning ska vara godkänd som hygienisering av materialet är följande²⁵:

- Partikelstorleken får maximalt vara 12 mm efter behandling
- Allt material måste ha en minimitemperatur på 70°C
- Minimitemperaturen måste hållas i minst 60 minuter utan avbrott

Denna hygieniseringsmetod är vanligast förekommande i Sverige idag, mycket på grund av att den har varit den enda generellt accepterade metoden. Det utvärderas kontinuerligt alternativa metoder som kan fungera som hygieniseringssteg^{26, 27}. Ur energibesparingssynpunkt skulle det naturligtvis vara önskvärt att undgå denna värmebehandling.

Hygienisering genom uppvärmning kräver givetvis stora mängder energi. Detta gör denna process intressant ur ett energikartläggningsperspektiv eftersom storförbrukare av energi ofta har en stor effektiviseringspotential.

4.5 Rötrest

Det färdigrötade materialet som pumpas ut ur rötammaren kallas rötrest. Den innehåller fortfarande aktiva mikroorganismer samt organiskt substrat. Detta gör att en fortsatt produktion av metan kommer ske, även efter uttaget från rötammaren. För att förhindra läckage av metan och andra olägenheter förvaras rötresten i en för ändamålet avsedd rötresttank. Beroende på det inkommande materialets karaktär och den förbehandling som görs på anläggningen kan rötresten användas som biogödsel. Detta gäller i princip alla anläggningar som använder sig av slakteriavfall, djurgödsel, lantbruksgrödor samt livsmedelsavfall. I dessa fall uppnås i det närmaste en helt sluten kretslopps kedja²⁸, se *Figur 1*.

²² Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1774/2002 av den 3 oktober 2002 om hälsobestämmelser för animaliska biprodukter som inte är avsedda att användas som livsmedel

²³ ProAgria Svenska lantbrukssällskapets förbund (2007)

²⁴ Inger, Malin et al. (1997)

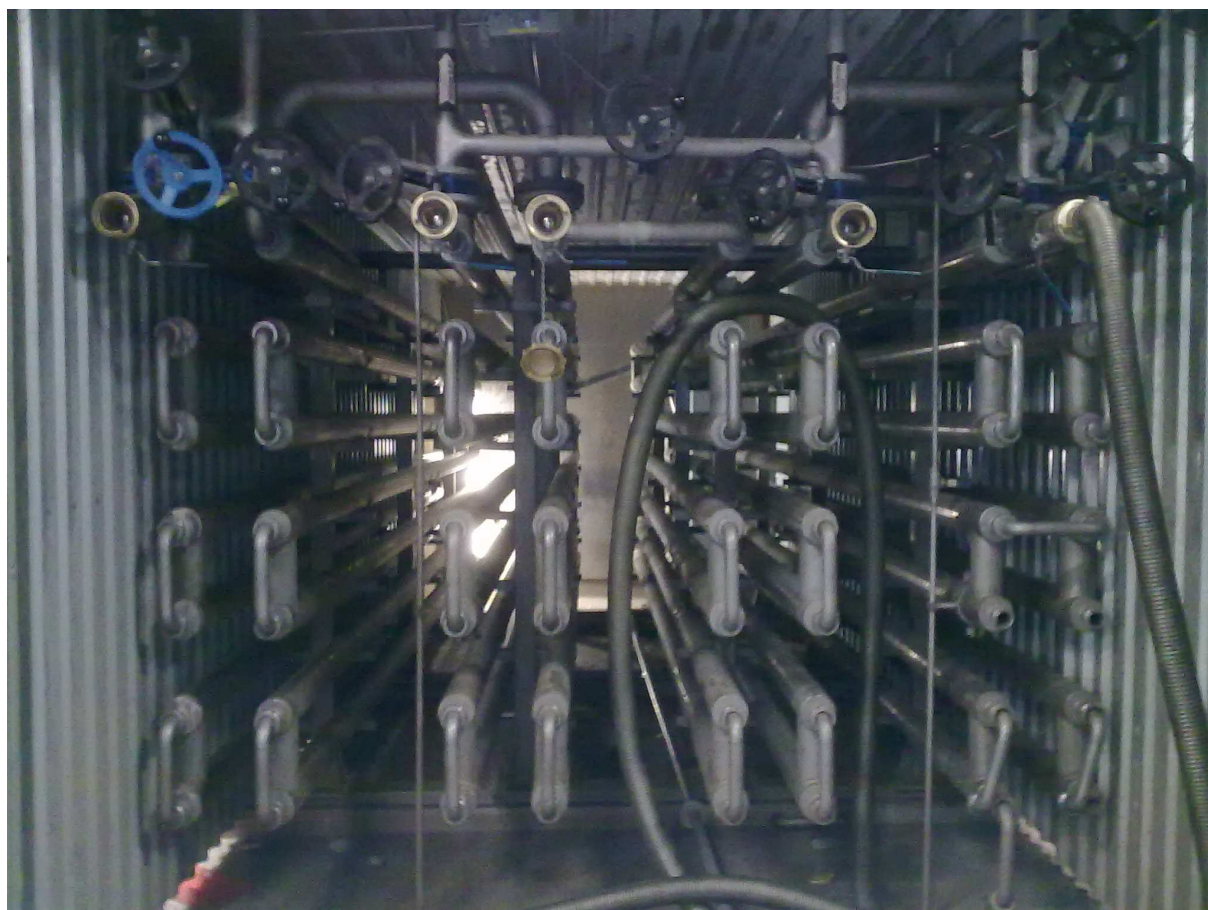
²⁵ Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1774/2002 av den 3 oktober 2002 om hälsobestämmelser för animaliska biprodukter som inte är avsedda att användas som livsmedel

²⁶ Avfall Sverige (2007)

²⁷ Jordbruksverket (2008)

²⁸ Baky, Andras, et al. (2006)

Rötresttanken, där rötresten mellanlagras innan den transporteras bort från anläggningen måste ha omrörning. Detta för att undvika sedimentering av det utrötade substratet. Omrörningen kräver tämligen mycket elenergi eftersom som den sker i princip kontinuerligt. Rötresten är dessutom en potent energiförlustkälla i form av bortförd värme. I de fall där en termofilprocess används har utgående material till rötresttanken en temperatur av ca 50-55°C. Om denna energimängd inte tas tillvara genom exempelvis värmeväxling blir värmeförlusten betydande. Se *Bild 2* för ett exempel på värmeväxlarenhet som används för bl.a. värmeväxla rötresten.



*Bild 2 visar en värmeväxlarenhet på biogasanläggningen vid Kungsängens gård i Uppsala.
Foto: Mats Andersson.*

5 Energikartläggning

Ett steg för att uppnå en hållbar samhällsutveckling vad gäller tillförsel och användande av energi är att effektivisera nuvarande energianvändning. Historiskt har detta inte ägnats mycket eftertanke, delvis beroende på kunskapsbrist men framförallt pga. tillgången på billig energi. Idag är situationen annorlunda. Rådande energipriser, högre miljömedvetenhet och den förutspådda framtida energibristen ger fler och starkare incitament till energieffektivisering.

Från politiskt håll görs åtgärder, såväl på nationell som på internationell nivå, för att minska vår klimatpåverkan. En del i det ledet var att införa skattehöjningar för processrelaterad elkonsument, vilket för Sveriges del resulterade i ett program för energieffektivisering, PFE. Genom programmet erbjuds skattereduktion till de företag som följer det uppsatta regelverket²⁹. För att företag ska få ansluta sig till PFE måste företaget certifieras enligt den europeiska standarden för energiledningssystem, SS-EN 16001, av ett certifieringsorgan³⁰.

En del i energieffektiviseringen är att göra en grundlig energikartläggning av verksamheten i fråga. Genomförandet av energikartläggningen kan skilja sig åt beroende på vem som utför den och vilket ändamål kartläggningen har. Energimyndigheten m.fl. ger dock tips och riktlinjer för vad som bör finnas med och lämpliga tillvägagångssätt. En generell energikartläggning kan innehålla punkter som:

- **Beskrivning av anläggningen.** Beskrivningen innefattar en överblick över aktuell anläggning och vilka enhetsoperationer som är av intresse för energikartläggningen. I beskrivningen bör systemavgränsningar definieras och information, som exempelvis materialflöde, energitillförsel/leverans, energibärare (el, bränslen osv.), anges. Ett bra och överskådligt sätt att presentera detta är via ett blockschema.
- **Datainsamling.** Genom data- och statistikinsamling över den senaste tiden erhålls en uppfattning över energibalansen i företaget. Data kan hämtas från exempelvis fakturor eller elleverantör. Av dessa data kan enklare diagram skapas, som kan fungera som analysunderlag, se *Figur 4* nedan. Årsförbrukningen kan också ge en bild över ”normalförbrukningen”.
- **Sortera data.** Efter datainsamlingen och överblicksanalysen kan data sorteras för att få en djupare insyn, genom att exempelvis dela upp data i olika poster som el och värme.
- **Inventering och mätning.** I vissa fall krävs inventering och mätning av olika slag, bl.a. för att nå önskad noggrannhet, för att data helt saknas eller för att kvantifiera en potentiell besparingsåtgärd. En inventering av installerad effekt samt drifttid ger en bild över elkonsumenterna. Mätning av temperaturer samt flöden kan ge information om värmeflödet i anläggningen.
- **Energiplan för anläggningen.** Framtidsanalys av anläggningens energianvändning, både på kort och på lång sikt, med beaktning av planerade anläggningsförändringar ger framförhållning och bredare beslutsunderlag. Detta ökar möjligheterna att fatta hållbara och ekonomiskt riktiga beslut.
- **Slutsatser.** Av insamlad data och övrig kartläggning dras slutsatser. En riktlinje kan vara att analysera förbrukare som står för mer än 5 % av total förbrukning, detta kan skilja sig åt mellan anläggningar. Frågor att besvara kan vara: Hur mycket energi

²⁹ Energimyndigheten (2010b)

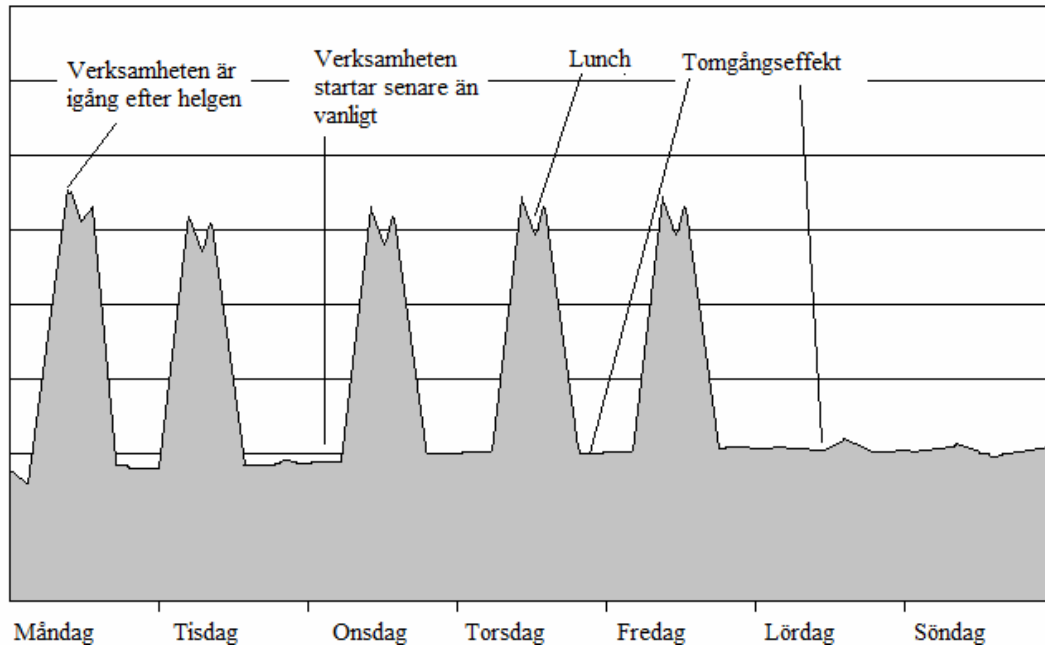
³⁰ Swedac (2010)

används i anläggningen? I vilka anläggningsdelar? Hur hög tomgångsanvändning finns? Finns effektiviseringspotential?

- **Åtgärder.** Utifrån slutsatserna och/eller andra punkter identifieras möjliga effektiviseringsåtgärder. Exempel på åtgärder kan vara: optimerat driftschema för att undvika effekttoppar, ersätta befintliga energibärare eller utrustning, utbildning bland personal i effektiv energianvändning etc.

Beroende på önskad detaljupplösning och syfte omfattas energikartläggningen av varierande antal punkter och djupgående analyser.

[Effekt]



Figur 4 visar exempel på initiala analyser som kan göras utifrån insamlad data för att få en god överblick. Exemplet bygger på en veckas elförbrukning med god samplingsupplösning.

Ovan beskrivna förfarande gäller i första hand industrier men kan även tillämpas inom andra områden. Jämförelsevis kan energideklaration, som är en typ av energikartläggning för bostadshus, nämnas. En energideklaration är ett mått på bostadens energiprestanda³¹.

Energikartläggningar som explicit handlar om biogasanläggningar är få, däremot finns litteratur kring liknande anläggningar, exempelvis reningsverk, att tillgå. Metoderna som används för energikartläggningen innehåller steg som liknar de ovan angivna. Dock varierar exempelvis tillgången på mätutrustning och krav på upplösning, dvs. hur många energiflöden som är relevanta^{32, 33}.

³¹ Boverket (2010)

³² Magnusson, Ann-Sofie (2006)

³³ Mossberg, Elin (2007)

6 Metod

En energikartläggning kan genomföras på en rad olika sätt beroende på de förutsättningar som finns. Någon nationell standard som måste följas finns inte. Däremot har många branscher och enskilda företag gjort mallar eller riktlinjer som kan vara till god hjälp vid planerandet och genomförandet av en energikartläggning. Genom litteraturstudien som gjorts i samband med detta examensarbete har en anpassad energikartläggningsmall tagits fram för att tillgodose anläggningens förutsättningar^{34, 35, 36, 37, 38, 39}.

Energikartläggningen delades upp i fyra steg för att få en tydlig arbetsgång genom projektet, där varje delsteg ligger till grund för nästkommande. Efter varje steg gjordes en kort utvärdering för att se om ytterligare information måste tas med. Ibland är iteration av stegen nödvändig.

Steg 1. Det första steget är att få en överblick över anläggningens utformning, maskinpark samt i vilka former energin tillförs processen. Utifrån detta utformas ett blockschema innehållande energiflöden för varje processdel i anläggningen. Dessa blockscheman ligger till grund för den vidare analysen och beskrivning av anläggningen.

- hur och i vilken form energin tillförs processen
- var i processen används energin och i vilken form
- energiflödet ut ur verksamheten

Utifrån ovanstående punkter utformas ett preliminärt blockschema över anläggningens intressanta delar. Detta för att få en god känsla för anläggningen och fortsatt arbetsgång.

Steg 2. I steg två identifieras vilka av de från steg ett framtagna energiflödena som behöver mätas. Mätningen utförs för att kunna kvantifiera energiflödena. Mätpunkterna ska analyseras varvid lämpliga mätmetoder för el respektive ånga och värme identifieras. Efter en tids mätning ska de valda mätmetoderna utvärderas så att eventuella brister upptäcks och ändringar kan genomföras. Erhållen data struktureras sedan för vidare analys.

- identifiera de processer/energiflöden som behöver mätas
- utvärdera mätmetoder
- utför mätningar
- strukturera data

Med hjälp av denna datainsamling erhålls ett underlag för vidare analyser av energiflödena.

Steg 3. Steg tre är att analysera insamlad data. Steg tre fortlöper delvis parallellt med steg två för att snabbt kunna åtgärda eventuella fel eller ändringar av mätningarna.

Steg 4. Steg fyra består av att utvärdera erhållen data och dra slutsatser.

³⁴ Miljösamverkan Västra Götaland (2010),

³⁵ MÖTA (2009)

³⁶ Norrblom, Hans Lennart (2008)

³⁷ Nenet (2009)

³⁸ Energimyndigheten (2004a)

³⁹ Energimyndigheten (2004b)

Examensarbetet behandlar samtliga energiflöden i produktionsprocessen av biogas på Uppsala Vatten och Avfall AB:s biogasanläggning. Detta innebär kartläggning av värmebehovet samt elektricitetsförbrukningen. Tillvägagångssättet för att kartlägga värme- respektive elektricitetsflödena skiljer sig åt på grund av energiformernas egenskaper samt anläggningens förutsättningar. Genom anläggningens styrsystem kan nödvändig information loggas och sparas. Denna möjlighet utgör ett nödvändigt verktyg för energikartläggningen.

Vidare delades den totala mottagna mängden substrat in i två mätperioder. Detta beroende på att mätperioden för el respektive värme och ånga skiljde sig åt. Elektricitetsanvändningen undersöktes under 41 dagar medan värme- och ångförbrukningen mättes under 45. Uppdelningen gjordes för att rätt mängd mottaget substrat skulle jämföras med använd energi under motsvarande period.

7 Genomförande

Metodmallen som togs fram för detta projekt följdes genom hela examensarbetet. Dock lades ett mindre sidoexperiment till för att höja noggrannheten i projektet. Detta sidoexperiment beskrivs under rubriken "Specifik värmekapacitet"

7.1 Beskrivning av anläggningen

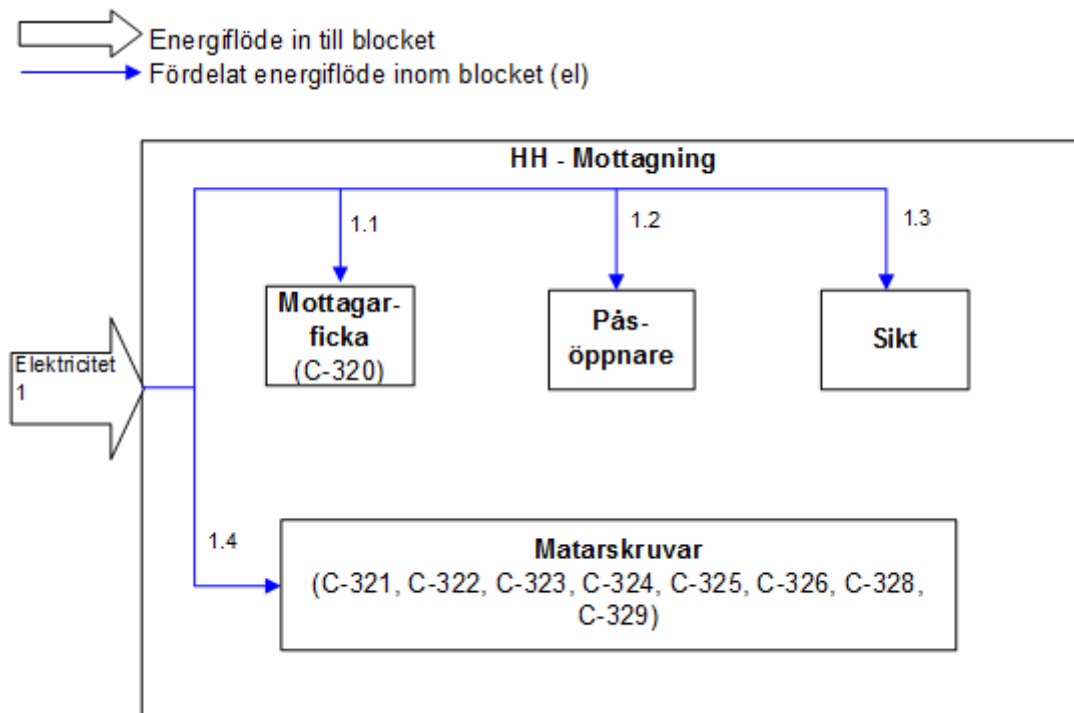
Anläggningen delades upp i olika block där varje block representerade en avskild del av anläggningen. Uppdelningen är inte absolut i den meningen att ingående enhetsoperationer i respektive block endast används där, utan ska snarare ses som ett verktyg för att göra energikartläggningen överskådlig. Anläggningsbeskrivningen visualiseras med ett blockschema över varje enskilt block, se *Figur 5-24 (Figur 3 för helhetsbild över anläggningen)*. I varje block ingår ett varierande antal enhetsoperationer. Blockschemat ger båda en uppfattning för de olika enhetsoperationernas funktion samt möjlighet till att tydligt definiera avsedda flöden. Dessa flöden representeras av numrerade pilar.

Energitillförseln till anläggningen sker antingen via elektricitet eller via ångpannan. För att förtydliga denna skillnad har varje blockschema försetts med pilar av olika färg. Alla elektriska flöden är markerade med blått och alla flöden relaterade till ångpannan är markerade med rött.

Beteckning inom parentes hos enhetsoperationerna är dess identifieringsbeteckning hos anläggningens styrsystem.

7.2 Mottagning av hushållsavfall

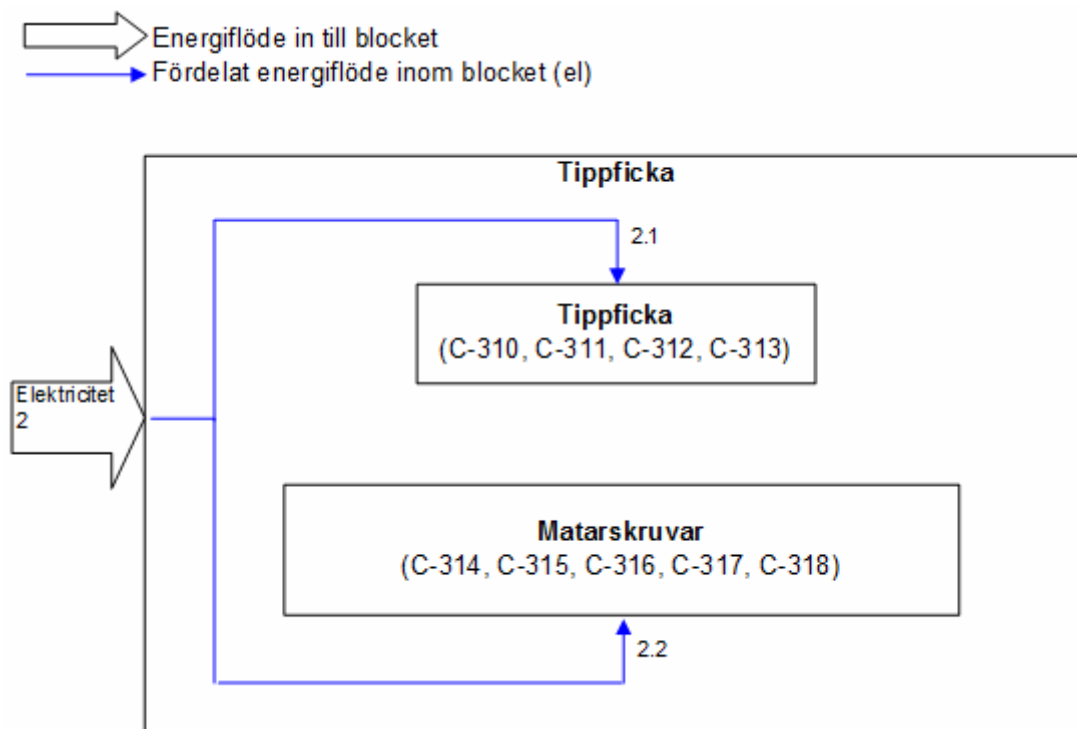
I hushållsmottagningen, se *Figur 5*, tas hushållsavfall som oftast är förpackat i plastpåsar emot. Även organiskt avfall från restauranger, stormarknader etc. som på något sätt är förpackade med plastemballage tas emot här. Gemensamt är att det organiska substratet som ska rötas måste skiljas från förpackningen innan den kan tas in i processen. Detta görs genom att låta allt material, via matarskruvar, passera en "påsöppnare". Påsöppnaren, som egentligen är en ombyggd flismaskin, har roterande tänder som sliter upp och trasar sönder plastförpackningarna. Sedan passerar materialet en trumsikt. I trumsikten, som är en roterande trumma med hål i, faller det organiska materialet genom hålen medan de längre och mer sammanhängande plastemballagen blir kvar för utsortering. Det organiska materialet transporteras sedan via matarskruvar till "tippfickan".



Figur 5 visar de sökta energiflödena i hushållsmottagningen. I detta block används endast elektricitet.

7.3 Tippfickan

Tippfickan, se Figur 6, är också en mottagningsstation, men för oförpackat organiskt material som exempelvis slakteriavfall. Detta material behöver således ingen mekanisk förbehandling liknande den som förpackat material kräver. Allt material som tas in till anläggningen passerar vid något tillfälle denna tippficka. Från tippfickan transporteras materialet vidare via matarskruvar. För att underlätta transporten och omblandningen, späds materialet med spädmedia. Denna spädning är även en form av förspädning för att uppnå önskad torrsubstanshalt.



Figur 6 visar de sökta energiflödena i tippfickan. I detta block används endast elektricitet.

7.4 Förbehandling innan buffertankar

Detta block innehåller många olika delar med olika funktioner, se Figur 7. Gemensamt är att alla delar är någon form av förbehandling av materialet innan bufferttankarna. I vilken ordning materialet transporteras mellan förbehandlingsstationerna kan skilja sig något åt men det finns i huvudsak två processled:

Alternativ 1: Pulprar → Sandavvattare → Dispergering → Sedimenteringstank → "Smutsig" bufferttank → Silgaller → "Ren" bufferttank

Alternativ 2: Pulprar → Sandavvattare → Dispergering → Silgaller → "Ren" bufferttank

7.4.1 Pulprar

Från tippfickan hamnar materialet i någon av pulpertankarna. Här ombländas materialet med hjälp av omrörare i botten av tankarna. Om dessa omrörare arbetar för hårt, dvs. drar mycket ström, blåses högtrycksluft in för att hjälpa omrörarna och få en kraftfull omblandning. I pulprarna späds materialet ytterligare så att önskad ts-halt erhålls. Detta görs för att ge materialet en hanterbar densitet och ts-halt för pumparna. Pumpningen sker med hjälp av Mammutpumpar som drivs med lågtrycksluft. Spädningen bidrar även till att tyngre partiklar, som exempelvis stenar, lättare sjunker till botten av tanken där de sen kan avskiljas. Rötningssubstratet pumpas sedan vidare till sandavvattaren.

7.4.2 Sandavvattare

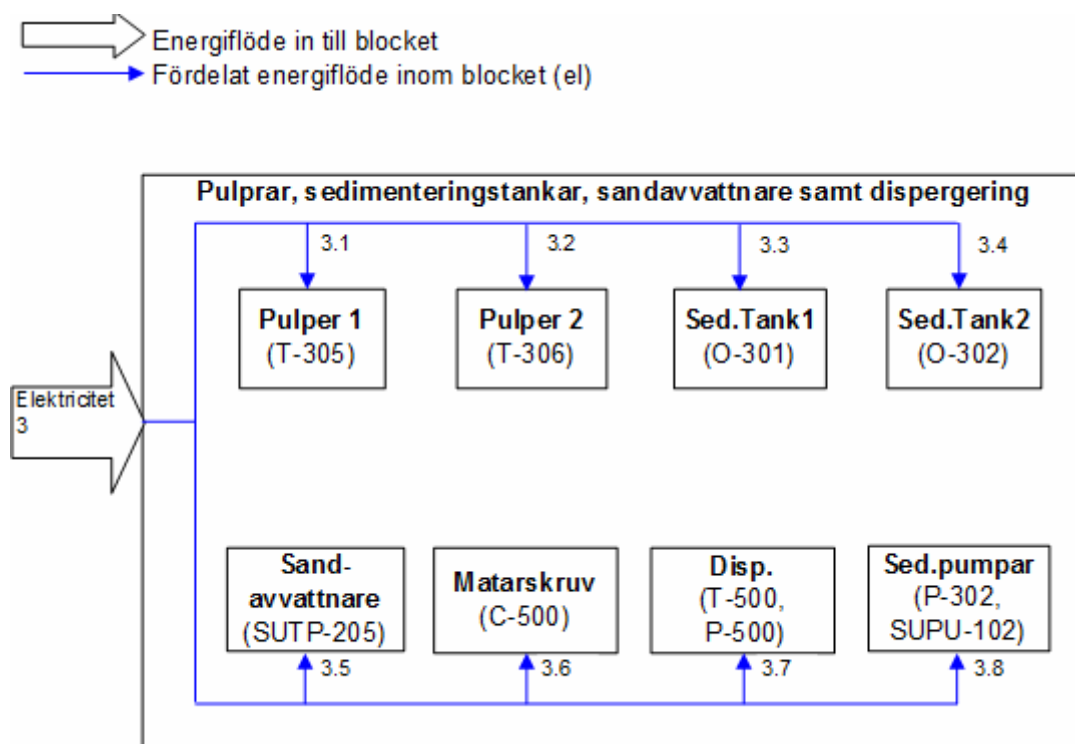
Det organiska materialet innehåller många gånger oönskade beståndsdelar, som exempelvis knivar och gafflar. Dessa element bidrar inte till metanbildningen och kan ställa till tekniska problem, som exempelvis ökat slitage på maskiner, pumpar etc. För att undgå problemen avskiljer man dessa i sandavvattaren. Rötningssubstratet transporteras sedan vidare till dispergeringen för malning.

7.4.3 Dispergering

Dispergeringen är en stor kvarn där två ”tallrikar” roterar mot varandra i syfte att finfördela det organiska materialet. Dispergeringen ökar därmed rötningssubstratets homogenitet. Finfördelningen görs för att i ett senare skede underlätta och påskynda rötningsprocessen samt uppfylla hygieniseringskraven. Från dispergeringen kan sedan rötningssubstratet antingen pumpas till silgallret eller till sedimenteringstankarna.

7.4.4 Sedimenteringstank

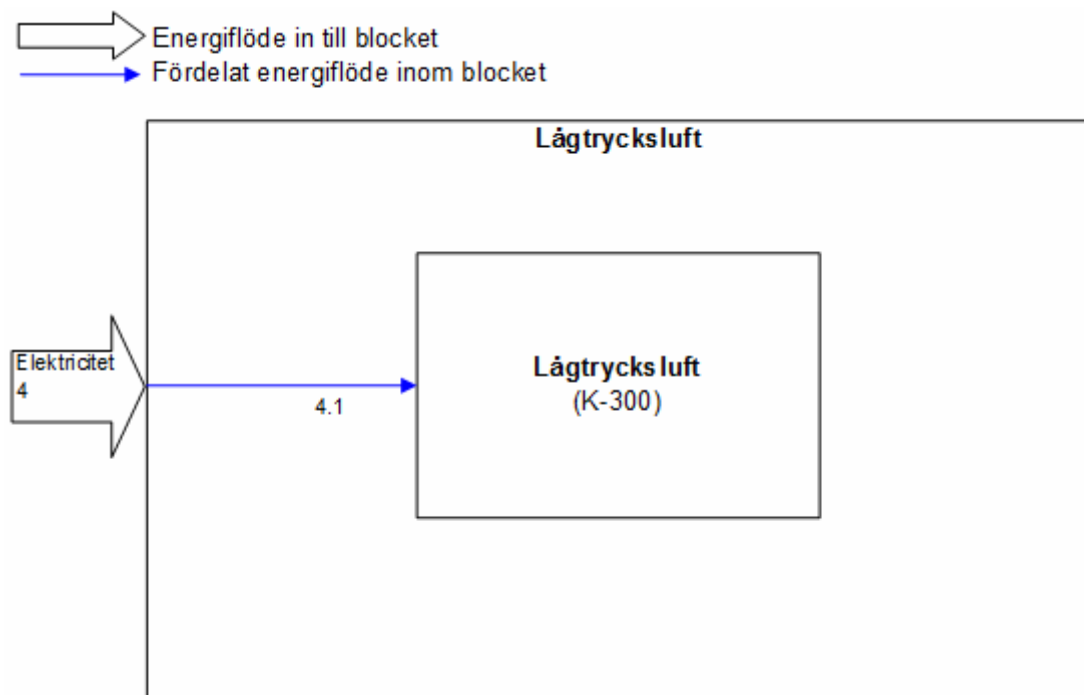
Den ursprungliga funktionen hos sedimenteringstankarna var, precis som namnet indikerar, att låta det nu finfördelade rötningssubstratet sedimentera så att kvarvarande större partiklar sjönk mot botten för utsortering. Idag fungerar emellertid sedimenteringstankarna som utjämnings tankar mellan dispergeringen och bufferttankarna. Anledningen till att dessa tankar är kvar, trots att det ursprungliga syftet är borta, är för att skapa ett stabilt och jämt flöde av rötningssubstratet. Från sedimenteringstankarna pumpas rötningssubstratet till en ”smutsig” bufferttank. Benämningen ”smutsig” syftar till att materialet ej har passerat silgallret och därmed avskiljts från plastbitar och andra föroreningar.



Figur 7 visar sökta energiflöden till förbehandling av materialet innan bufferttankarna. I detta block används endast elektricitet.

7.5 Lågtrycksluft

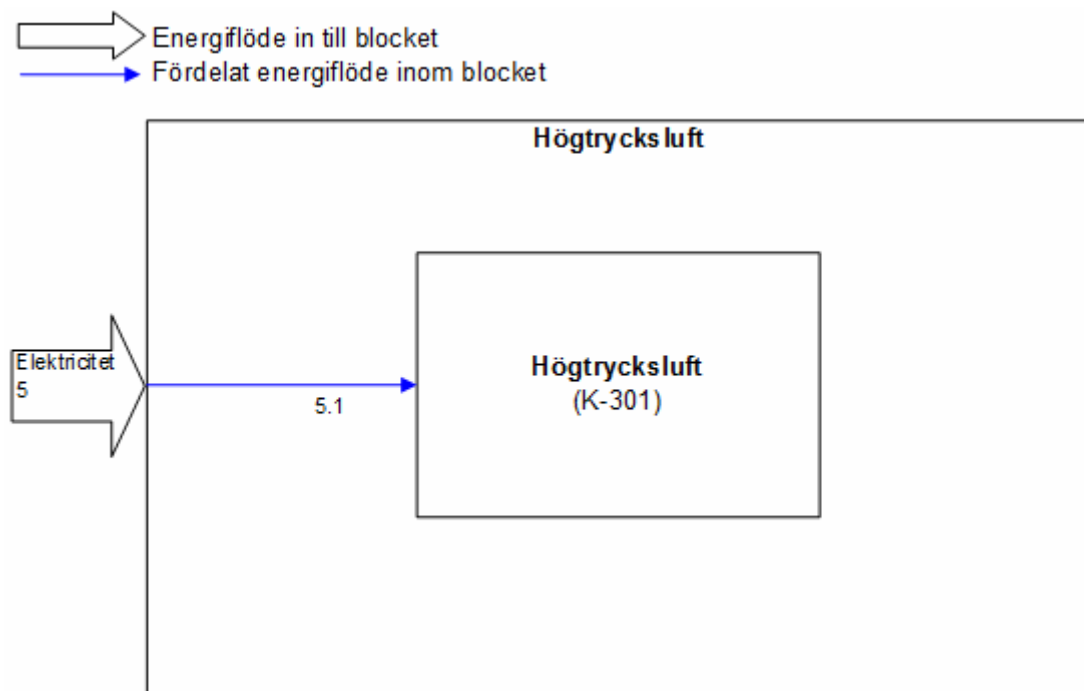
Lågtrycksluften, ca 850 mbar(ö), används endast till mammutpumparna för att lyfta det organiska materialet från pulprarna till sandavvattaren.



Figur 8 visar det sökta energiflödet till lågtrycksluften. I detta block används endast elektricitet.

7.6 Högtrycksluft

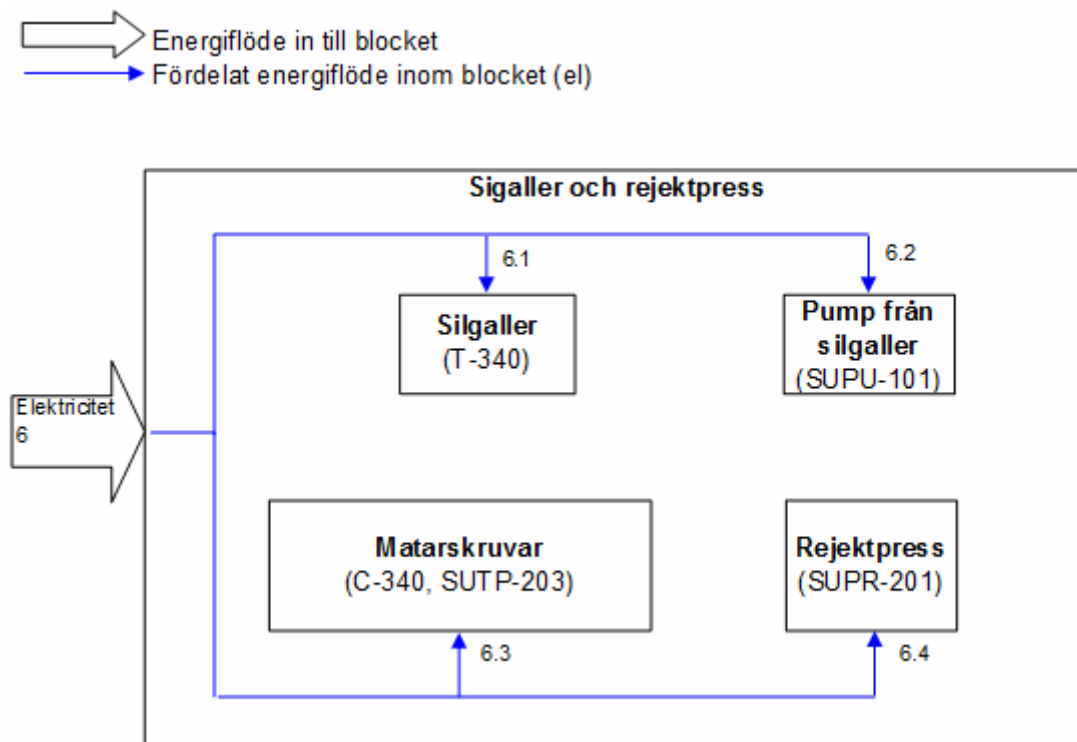
Högtrycksluften, ca 10 bar(ö), används för all pneumatik i anläggningen. Den används dessutom för avskiljningen av de tyngre partiklar i botten på pulprarna genom blåskanoner som "skjuter" iväg partiklarna. Som tidigare nämndes kan även högtrycksluft blåsas in i pulpertankarna för att få fart på omblandningen vid exempelvis väldigt trögflytande materialförhållanden.



Figur 9 visar det sökta energiflödet till högtrycksluften. I detta block används endast elektricitet.

7.7 Silgaller och rejektpress

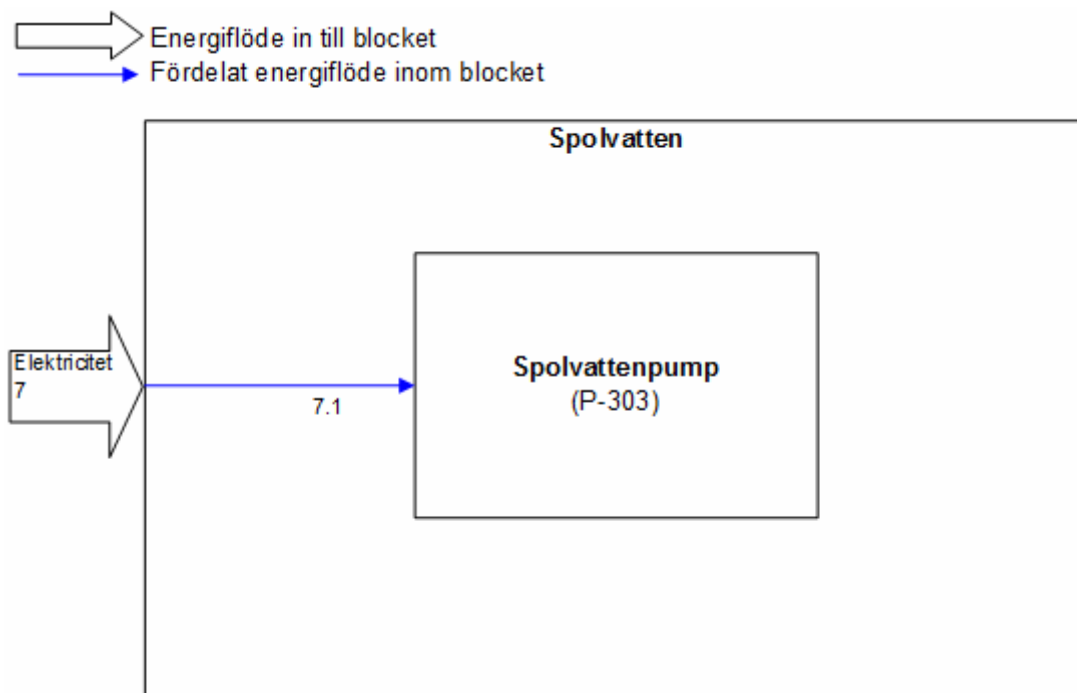
Till silgallret, se *Figur 10*, kommer rötningssubstratet antingen direkt ifrån dispergeringen eller från en ”smutsig” bufferttank. I silgallret ska plast och andra orenheter avskiljas från rötningssubstratet innan det pumpas till en ”ren” bufferttank. Benämningen ”ren” syftar till att rötningssubstratet har passerat silgallret minst en gång. Det som avskiljs från rötningssubstratet kallas rejekt. Rejektet pressas så att vätskan lämnar materialet och kvarvarande rejektbulk transporteras via matarskruvar till en rejektcontainer. Den urpressade rejektvätskan, som innehåller en del organsikt material, används sedan som spädmedia. Denna återanvändning av rejektvätskan sänker även vattenförbrukningen i anläggningen.



Figur 10 visar de sökta energiflödena till silgallret samt rejektpressen med tillhörande enhetsoperationer. I detta block används endast elektricitet.

7.8 Spolvatten

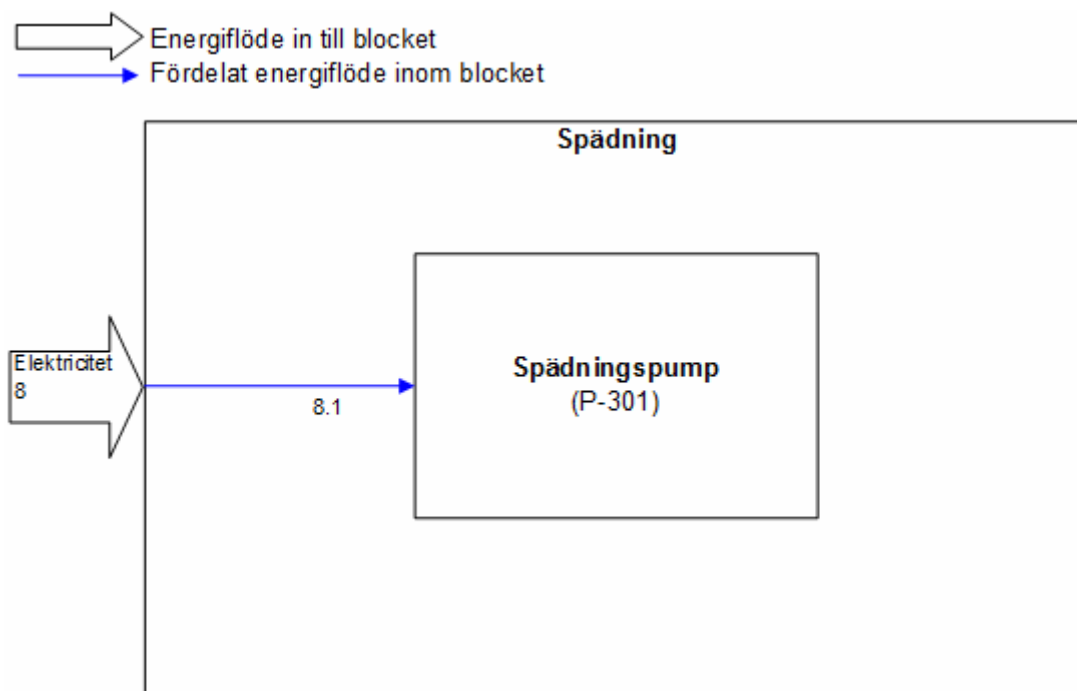
Spolvattnet är rent vatten som används i spolvattenslangar vid rengöring samt för påfyllning av spädmedia.



Figur 11 visar det sökta energiflödet till spolvattenanvändningen. I detta block används endast elektricitet.

7.9 Spädning

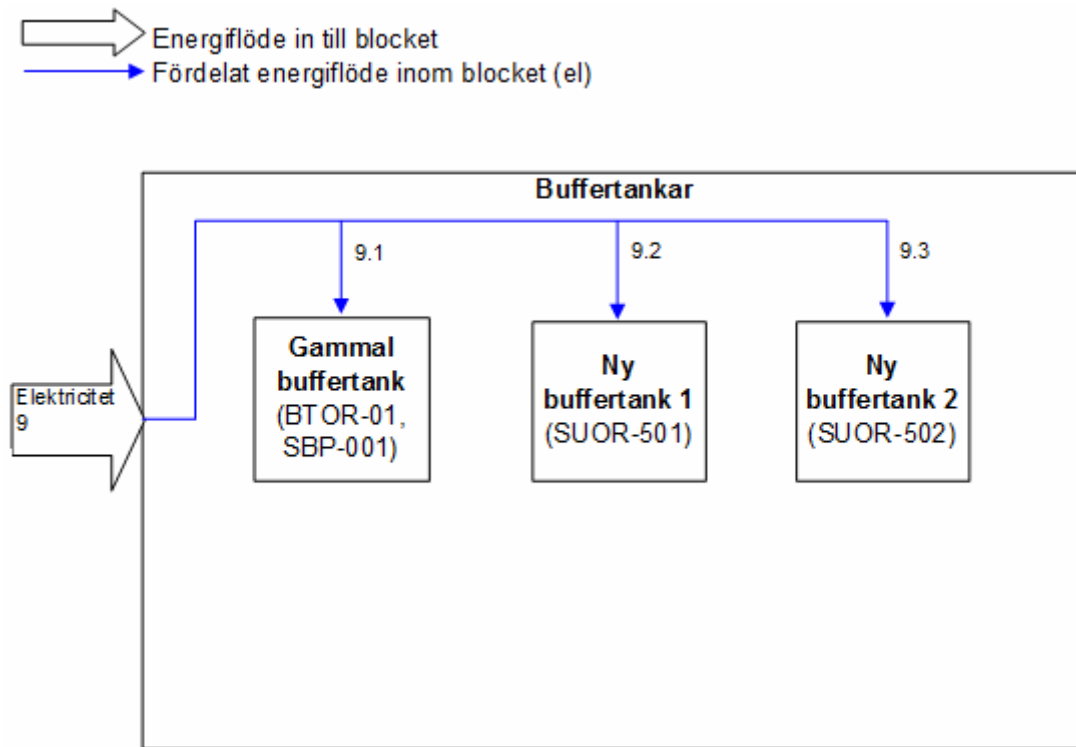
Spädningstanken är en bufferttank för spädmedia. Spädningsmedia kan även tas direkt från en "smutsig" bufferttank och ofta är spädningen i tippfickan eller pulprarna en blandning av spädmedia från en "smutsig" bufferttank och spädningstanken. På detta sätt kontrolleras och styrs torrsbstanshalten.



Figur 12 visar det sökta energiflödet som används till spädningen. I detta block används endast elektricitet.

7.10 Bufferttankar

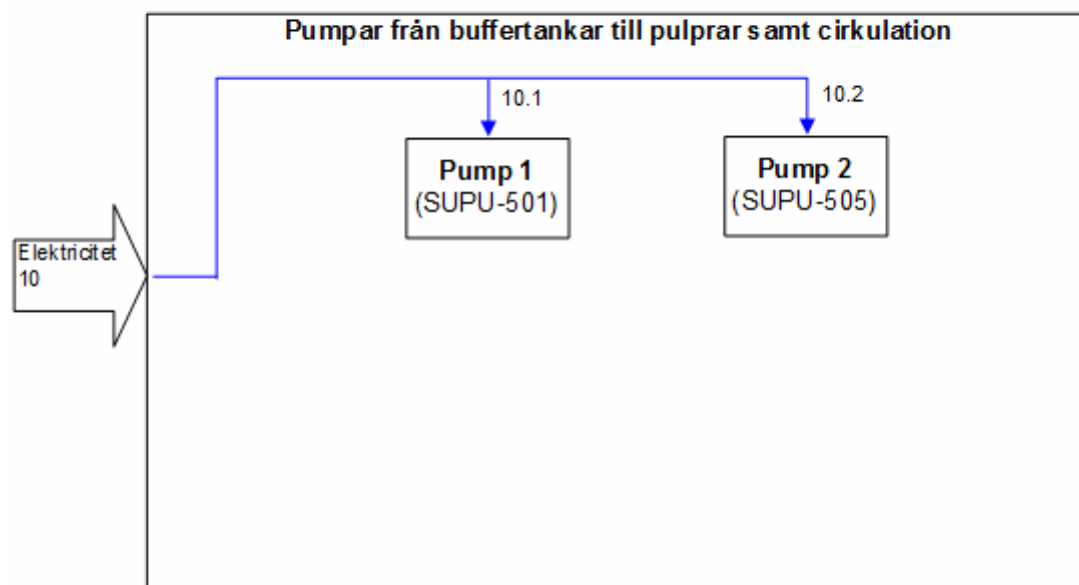
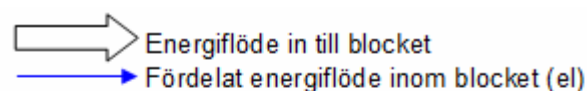
Som tidigare nämnts används två benämningar på bufferttankarna, "ren" respektive "smutsig", beroende på vilken förbehandling som rötningssubstratet har genomgått. Dock är det så att flödet mellan bufferttankarna kan ske via olika sekvenser. Beroende på vilket material som tagits emot körs substratet genom silgallret två gånger, varvid en "smutsig", en "nästan ren" och en "ren" bufferttank erhålls. Oavsett sekvens fungerar bufferttankarna som ett mellanled för att skapa ett jämt flöde till hygieniseringen.



Figur 13 visar de sökta energiflödena till bufferttankarna. I detta block används endast elektricitet.

7.11 Cirkulationspumpar

Dessa två pumpar har flera användningsområden. Dels står de för pumpningen av spädmedia från "smutsig" bufferttank till tippfickan eller pulprarna, dels för pumpningen från bufferttankar till silgallret. Dessutom används de som cirkulationspumpar mellan bufferttankarna.



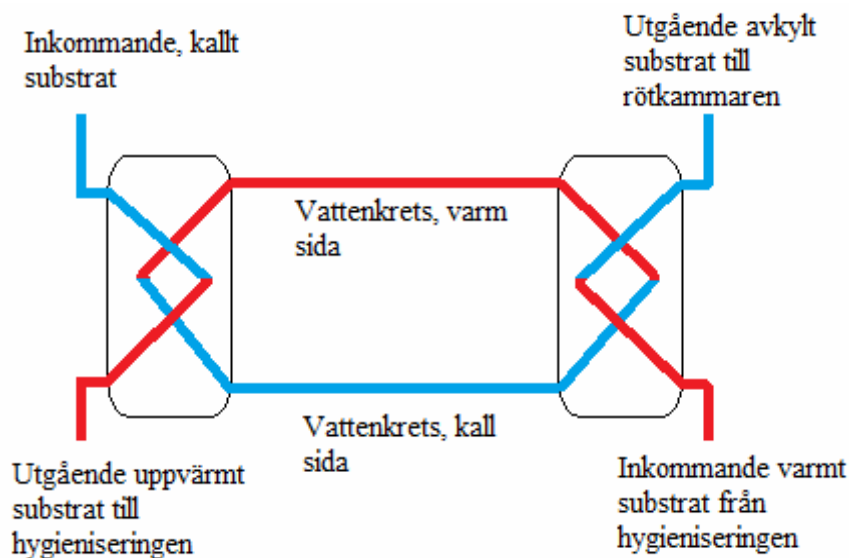
Figur 14 visar de sökta energiflödena till cirkulationspumparna. I detta block används endast elektricitet.

7.12 Hygienisering

Från den ”rena” bufferttanken pumpas substratet via två värmeväxlarsteg till en av hygieniseringstankarna. Värmeväxlingen sker dels mot utgående substrat från rötkastrarna med en temperatur på ca 52°C och dels mot utgående substrat från hygieniseringen med temperatur på ca 72°C, se Figur 15. Den totala temperaturhöjningen är ungefär 20°C, från ca 25°C till 45°C. Värmeväxlingen görs främst för att ta tillvara på annars förlorad energi men också för att en temperatursänkning av materialet efter hygieniseringen är nödvändig för att nå rätt rötnings temperatur. Värmeväxlingen sker med en vattenkrets, där värmen från det varma substratet först övergår till vattenmediet för att sedan växlas över till det kallare. Det finns många fördelar med att använda sig av en extern, sluten vattenkrets t.ex. bättre kontroll av växlingsflödet och minskad risk för att kontaminera hygieniserat substrat med råsubstrat⁴⁰.

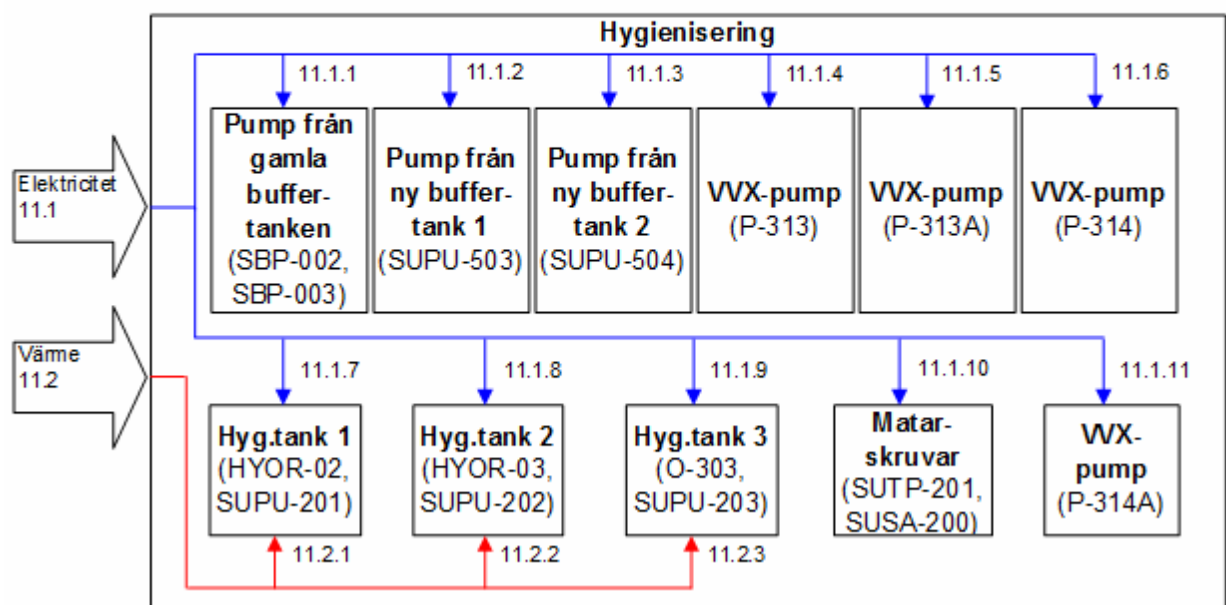
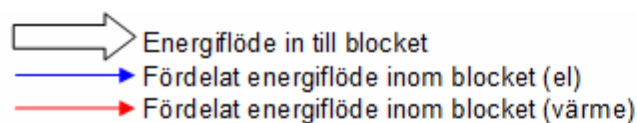
I hygieniseringstanken höjs temperaturen från ca 45°C till ca 72°C med hjälp av vattenånga. Hygieniseringssatserna körs stegvis mellan de tre tankarna, när den första hygieniseringssatsen är klar fylls den andra på och värmeutbyte genom värmeväxling kan ske mellan de två satserna. Sekvensen fortsätter på samma sätt mellan de tre tankarna. På detta sätt tas överskottsvärmen tillvara.

⁴⁰ Läckby Water Group (2010)



Figur 15 visar en principskiss över ett värmeväxlersystem med en extern vattenkrets. Figuren avser värmeväxling av inkommande kallt substrat mot det varma substratet efter hygieniseringen.

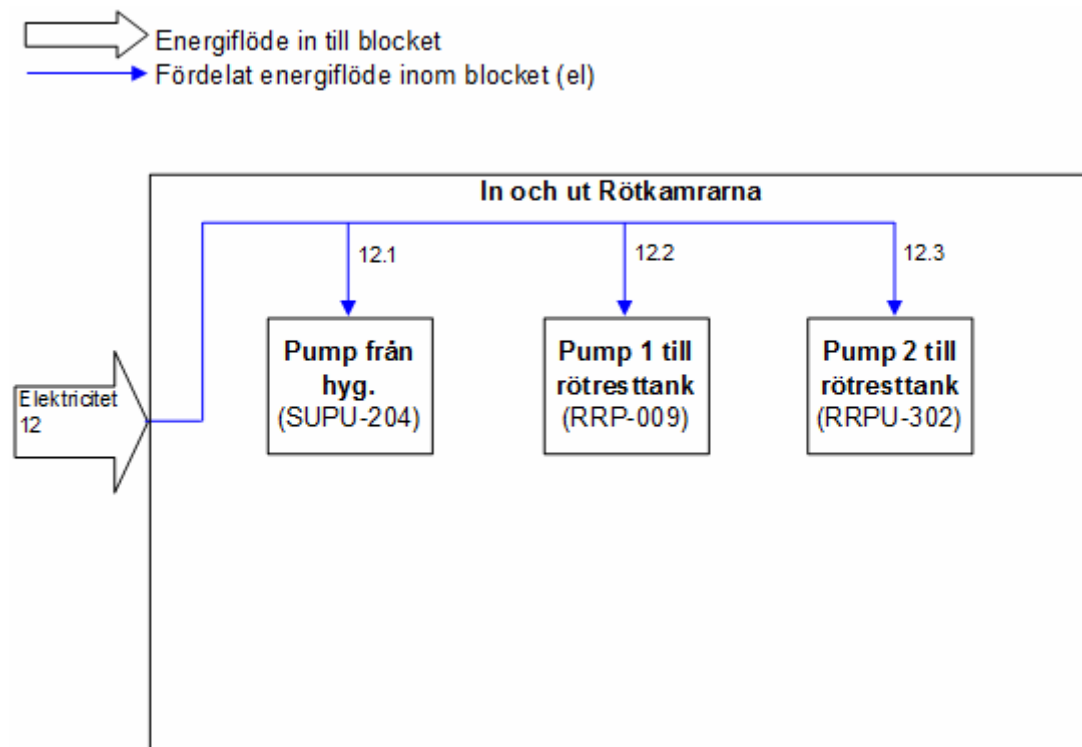
I detta block används elektricitet för pumpar och omrörare i hygieniseringstankarna samt värme i form av vattenånga.



Figur 16 visar de sökta energiflödena till hygieniseringen med tillhörande enhetsoperationer. I detta block används elektricitet samt värme.

7.13 In och ut ur rötkamrarna

Det hygieniserade substratet transporteras till rötkamrarna med hjälp av pumpar. Efter röttningsprocessen pumpas restmaterialet, via värmeväxlare, ut till en rötresttank.



Figur 17 visar de sökta energiflödena in och ut ur rötkamrarna. I detta block används endast elektricitet.

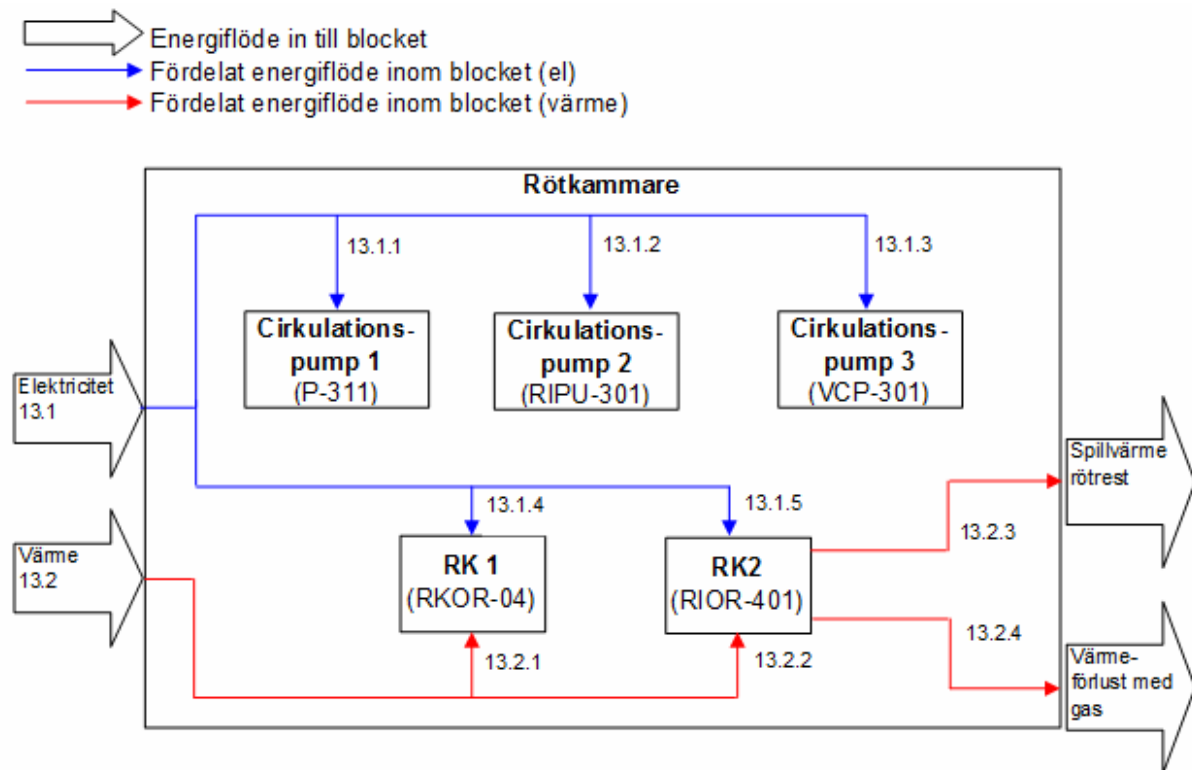
7.14 Rötkammare

Till rötkamrarna, där röttningsprocessen äger rum, kommer det hygieniserade materialet via pumpar. I rötkamrarna hålls temperaturen i princip konstant på 52°C med hjälp av värmeväxlare. I blocket representeras värmeväxlarpumpen av "Cirkulationspump 3, VCP-301". Värmeväxlaren växlar varmvatten från pannan direkt mot substratet i rötkamrarna, utan extern vattenkrets.

När substratet tas ut från rötkamrarna värmeväxlas det mot inkommande substrat till hygieniseringen vilket gör att en del av värmen kan tas tillvara. Dock är det så att stora mängder värme ändå försvinner med rötresten ut till rötresttanken. Detta representeras i bilden med ett energiflöde ut ur blocket.

Materialet i rötkamrarna omblandas med omrörare. Detta görs för att skiktning inte ska uppstå och för att tillgodose att uppehållstiden blir ungefär den samma för allt organsikt material.

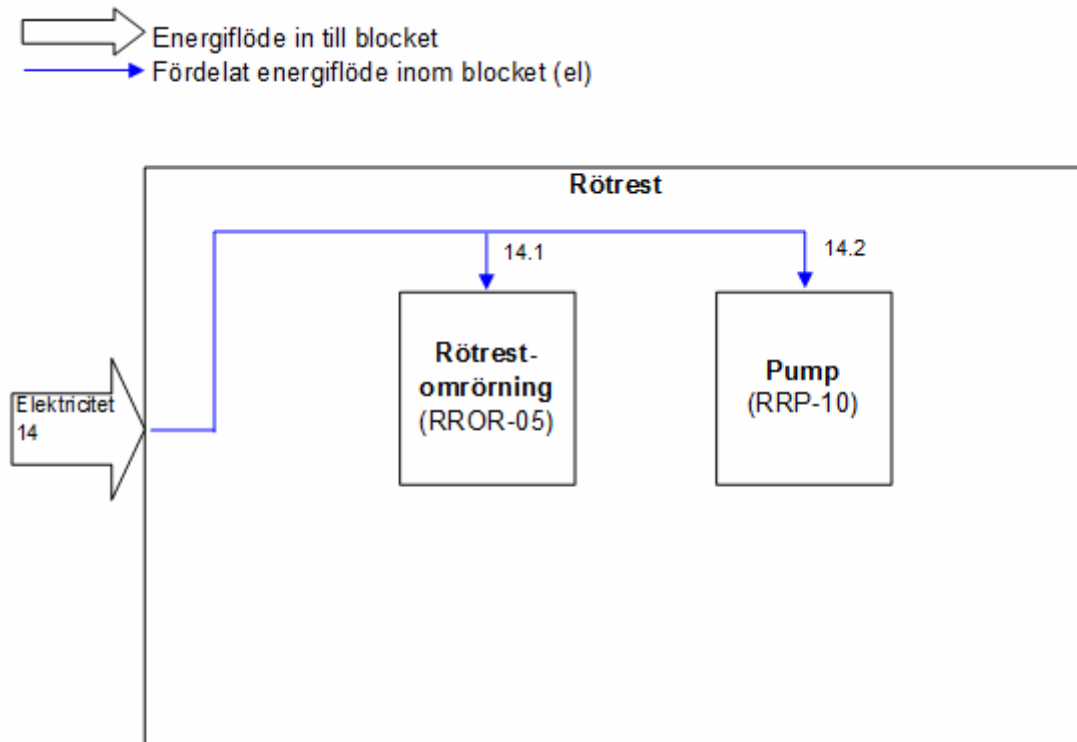
I detta examensarbete kommer endast en av rötkamrarna analyseras eftersom den andra är ur bruk för tillsyn och service. Att den ändå representeras här är för att skapa en helhetsbild och underlätta vidare analyser när den senare tas i bruk. På anläggningen finns två rötkammare och i detta projekt undersöks rötkammaren med beteckningen "RK2".



Figur 18 visar de sökta energiflödena till rötkamrarna med tillhörande enhetsoperationer. Observera att energiflöde sker både in och ut ur blocket. I detta block används både elektricitet och värme.

7.15 Rötresttank

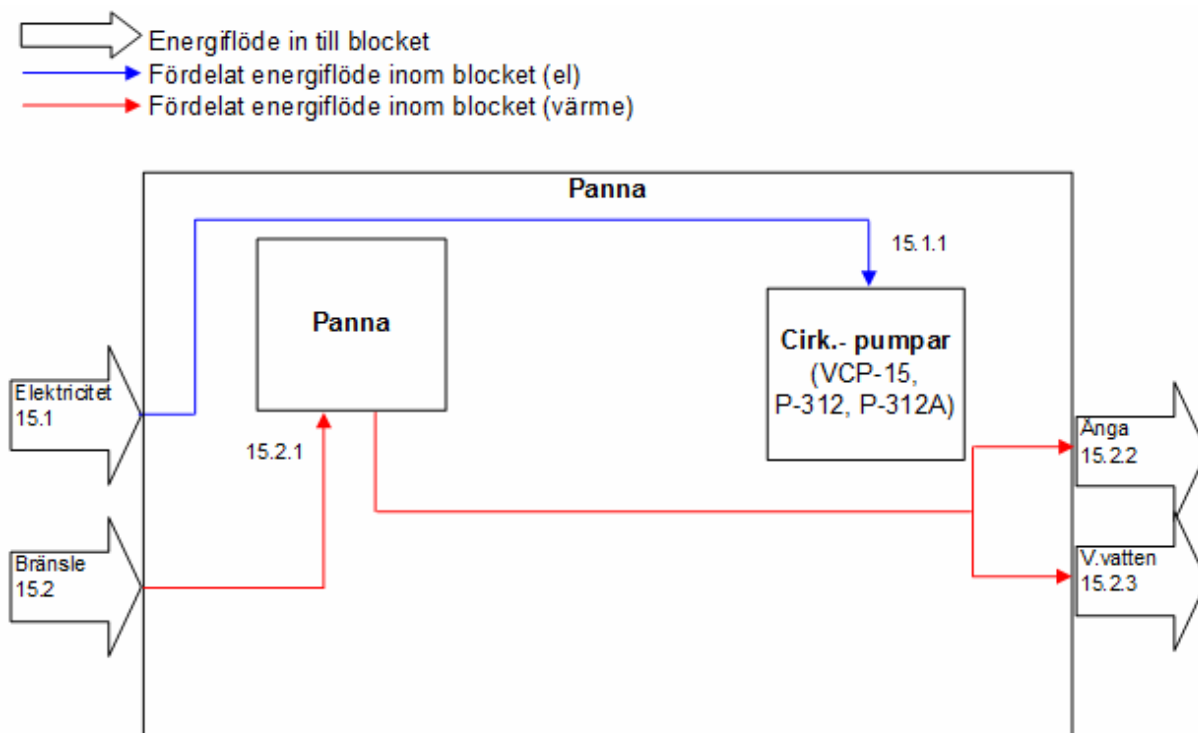
Rötresttanken är substratets slutstation innan det lämnar anläggningen. Hit pumpas substratet efter att uppehållstiden uppnått. I tanken blandas materialet om med hjälp av omrörare för att inte aggregering av materialet ska uppstå. Rötresttanken töms med jämna intervall med slamsugbil. Värmeförlusterna från detta block räknades med i rötkammarblocket, vilket gör att de inte representeras i denna bild.



Figur 19 visar de sökta energiflödena till rötresttanken. I detta block används endast elektricitet.

7.16 Pannan

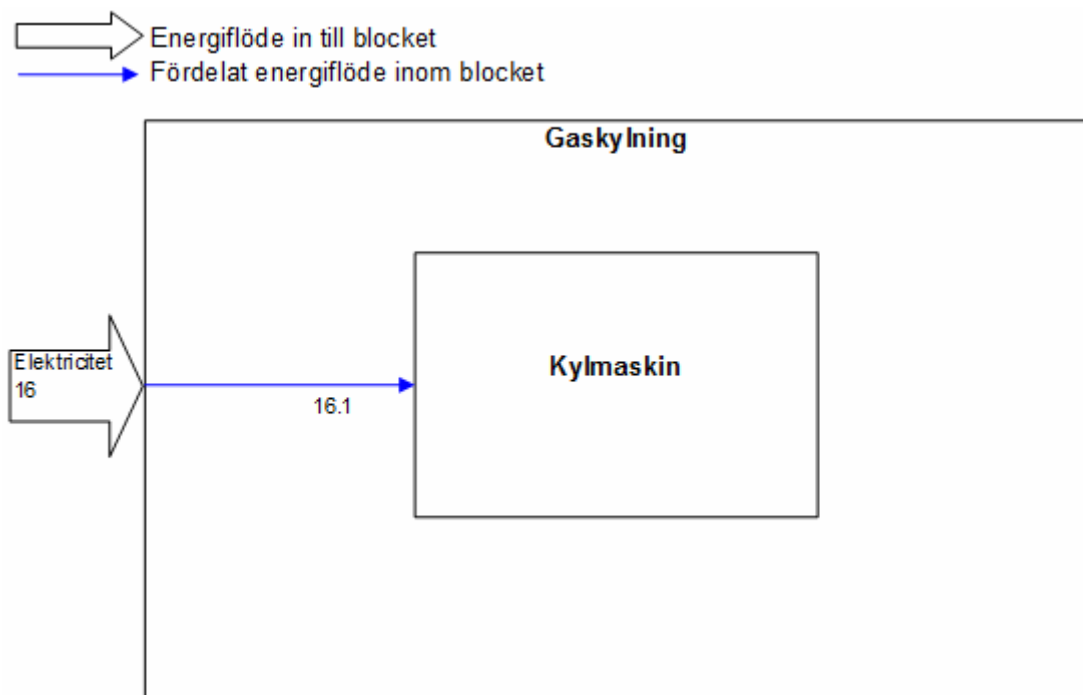
Energitillförseln till ångpannan är, förutom elektriciteten, den enda energi som tillförs anläggningen. Ångpannan förser hela anläggningen med värme, antingen i form av ånga eller via värmeväxlare som varmvatten och varmluft. Pannan kan eldas både med eldningsolja eller gas och då företrädesvis egenproducerad biogas. Pannan arbetar under ett konstant tryck på 7 bar och levererar ånga, som antingen växlas till varmvatten eller används som ånga vid hygieniseringen. Årsverkningsgraden för pannan är ca 60 %. Årsverkningsgraden beskriver hur mycket av det tillförda bränslet som kan utnyttjas och tillföras processen som nyttig energi. Förbränningsverkningsgraden, som är runt 88-90 %, beskriver endast effektiviteten vid just förbränningen och tar således inte hänsyn till värmeförluster till omgivningen.



Figur 20 visar de sökta energiflödena till pannan med tillhörande enhetsoperationer. Observera att energiflöde sker både in och ut ur blocket. I detta block används elektricitet och värmeenergi.

7.17 Gaskylning innan gasklockan

Innan biogasen mellanlagras i gasklockan på anläggningen kyls den av. När biogasen lämnar röt-kamrarna håller den ca 50-55 °C. Detta gör att gasen måste kylas ned innan den når gasklockan eftersom varken gasklockan eller rören är anpassade efter en så hög temperatur. Den lägre temperaturen ökar livslängden på gasklocka och rör. Värmen som kyls bort omhändertas i dagsläget inte, utan växlas direkt mot utomhusluften.

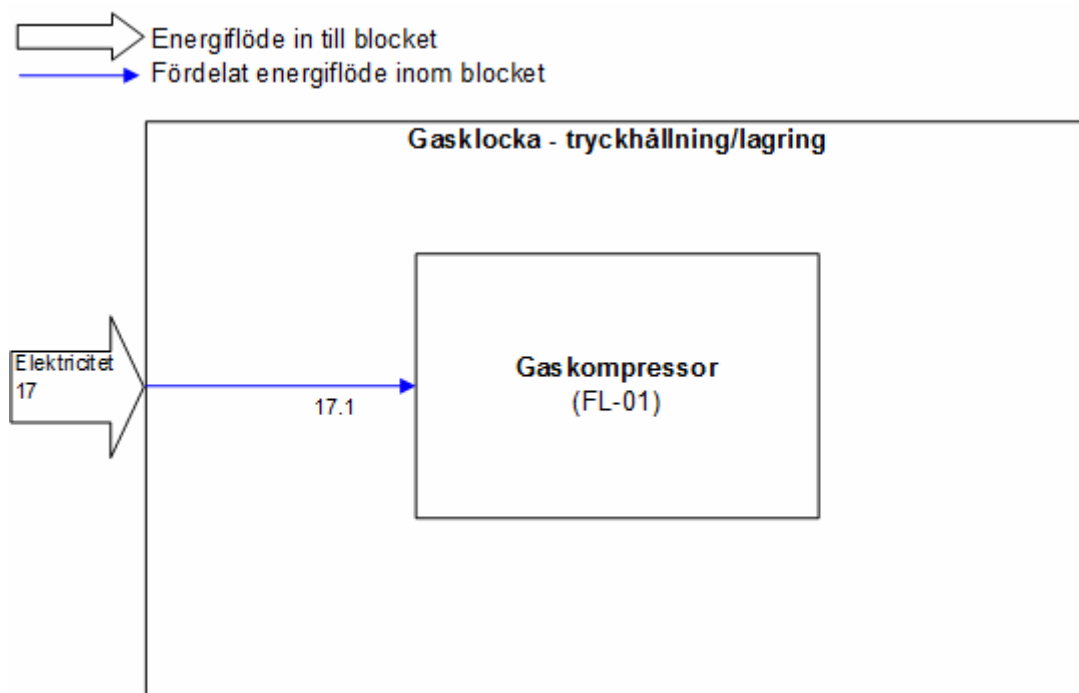


Figur 21

visar det sökta energiflödet till gaskylningen innan gasklockan. I detta block används endast elektricitet.

7.18 Gasklockan

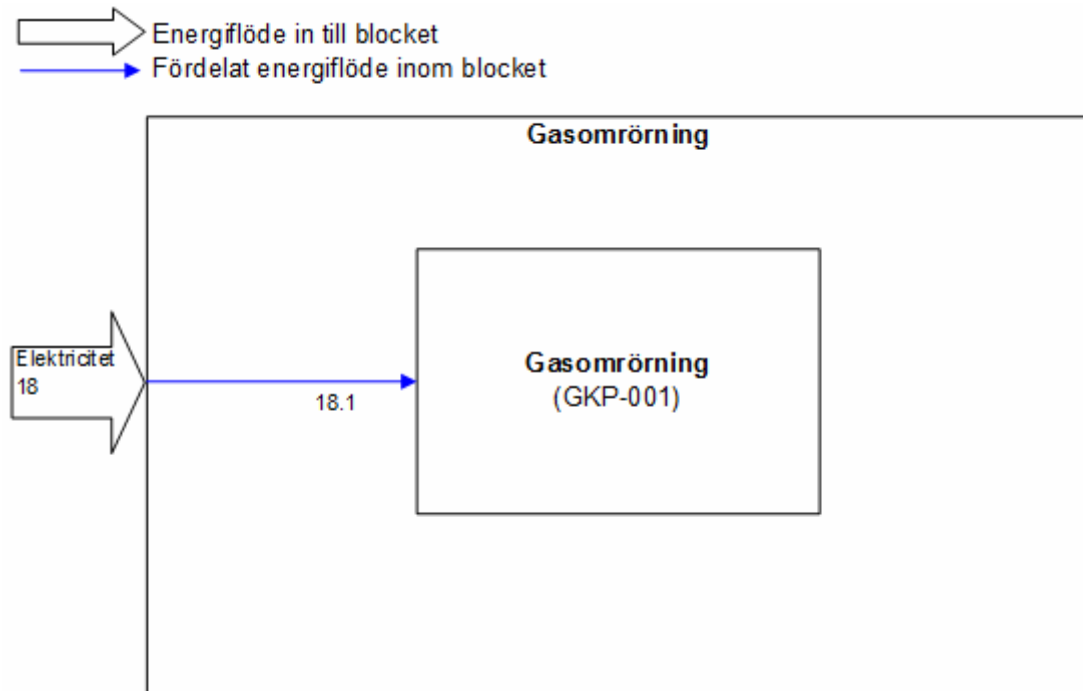
Gasklockan är anläggningens mellanlagring innan biogasen trycksätts och levereras. I princip består gasklockan av en stor ballong som tillsammans med gassystemet tryckhålls med hjälp av en fläkt, i bilden representerad av "FL-01".



Figur 22 visar det sökta energiflödet till gasklockan. I detta block används endast elektricitet.

7.19 Gasomrörning

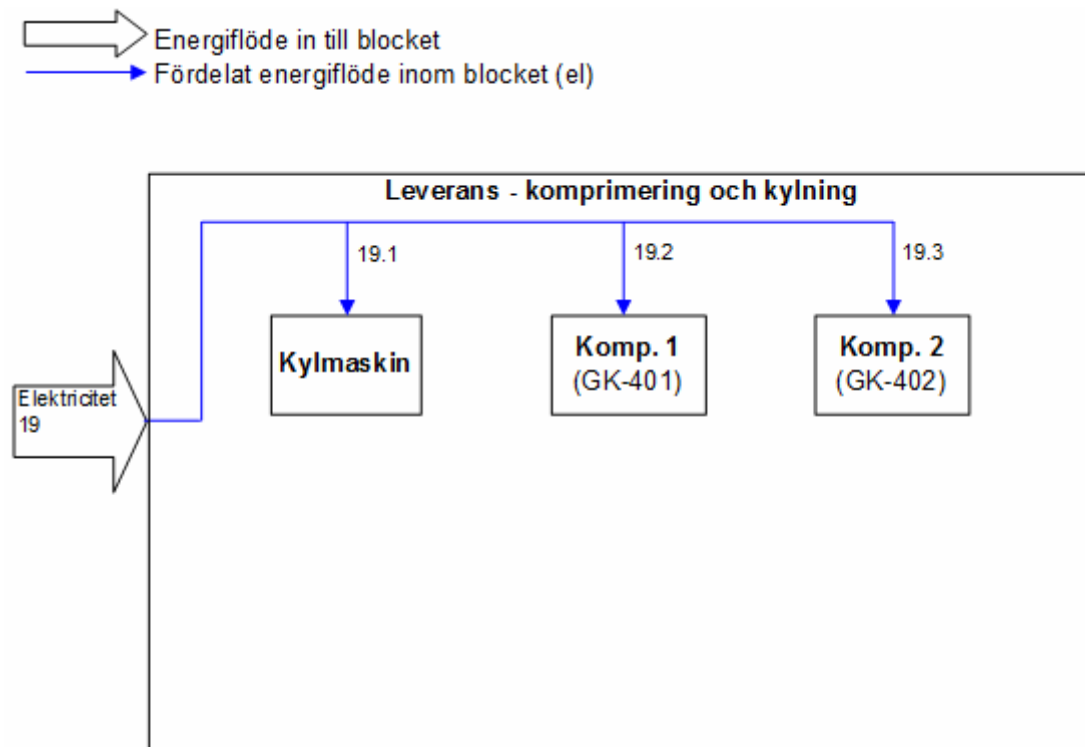
”GKP-001” är en gaskompressor som används för omrörning i rötgaskammarna. Omrörningen sker genom att den komprimerade gasen trycks in genom botten på rötgaskammaren och därmed vänder och blandar om det organiska materialet inne i rötgaskammaren. Omrörningen görs för att undvika att en ”ytkaka”, dvs. en ansamling av material som binder ihop sig till ett hårt skal, ska uppstå.



Figur 23 visar det sökta energiflödet till gasomrörningen. I detta block används endast elektricitet.

7.20 Leverans

Efter mellanlagring i anläggningens gasklocka måste biogasen trycksättas innan den kan distribueras till gasreningsverket. Detta görs genom två gaskompressorer. Vid trycksättning av gas höjs temperaturen vilket kan leda till slitage på rör och ledningar. Med samma motivering som vid kylningen av gasen innan gasklockan, sänks även gasens temperatur innan distribution för att undvika onödigt slitage. Värmen som kyls bort omhändertas i dagsläget inte, utan växlas direkt mot utomhusluften.



Figur 24 visar de sökta energiflödena till leveransen av gas med tillhörande enhetsoperationer. I detta block används endast elektricitet.

7.21 Kartläggning av elektricitet

Biogasanläggningen använder sig av många olika elförbrukande maskiner och processer, exempelvis matarskruvar och pumpar. Gemensamt för alla intressanta förbrukare är att de är frekvensstyrda. Detta innebär i praktiken att uteffekten på en given maskin kan varieras och styras efter behov. På nyare frekvensomvandlare finns ofta en utparameter som redovisar ackumulerad energiåtgång under en bestämd tidsperiod för en specifik förbrukare. Denna utparameter kan via styrsystemet loggas och sparas. Att använda denna parameter för att kartlägga elenergianvändningen var första angreppssättet. Dock visade det sig att endast cirka hälften av de 78 undersökta frekvensomvandlarna hade denna möjlighet, vilket gjorde att en annan metod fick väljas. Att manuellt mäta och spara mätvärdena bedömdes orimligt av två anledningar. För det första skulle mätarbetet med en mätutrustning påverka mätseriernas längd negativt eftersom mätutrustningen hela tiden behöver flyttas från en frekvensomvandlare till en annan. Alternativet var att köpa in 78 olika mätutrustningar, vilket också bedömdes orimligt. För det andra skulle elkartläggningen då ta allt för stor del av tiden i anspråk, något som skulle inverka negativt på värmekartläggningen. Ett tredje alternativ var att beräkna varje enhetsoperations effekt utifrån känd data från styrsystemet. Efter ett flertal kontakter med såväl företag som institutioner på Ångströmlaboratoriet blev det uppenbart att nödvändig information saknades och även här skulle det krävas separat hantering av varje enhetsoperation, vilket gjorde att även denna metod uteslöts. Enligt tillgängliga handböcker och mallar i ämnet är standardmetoden att inventera installerad effekt och därefter uppskatta eller, om möjligt, logga drifttiden. I detta examensarbete inventerades den installerade effekten, dvs. märkeffekten (se bilaga 1), och drifttiden för de olika enhetsoperationerna loggades med undantag för kylmaskinerna, påsöppnaren samt sikten.

7.22 Kartläggning av ånga

I hygieniseringsprocessen används ånga för att värma upp substratet till 70-72°C. Ångan produceras i en ångpanna. För att bestämma energiflödet till hygieniseringssteget måste mängden ånga som levereras dit mätas. Detta kan göras genom en ångflödesmätare. I detta fall fanns ej tillgång till sådan utrustning på anläggningen och en annan metod fick därför väljas. Allt vattnet in till pannan levereras via en matarvattentank som fylls på efterhand. Av detta vatten produceras sedan ånga som antingen går till hygieniseringsprocessen eller växlas mot vatten för värmning. Ångan som används i hygieniseringsprocessen tillförs direkt in i hygieniseringstankarna och kan därför inte återföras till processen. Ångan som växlas mot vattnet kyls däremot ned och återförs sedan till matarvattentanken. Under antagandet att inget läckage förekommer sker den enda massförlusten till hygieniseringsprocessen. Att mäta vattenflödet, se *Bild 3*, in till matarvattentanken ger således information om hur stor vattenmassa som lämnar systemet, dvs. omvandlas till ånga för hygieniseringsändamålet. Genom att även mäta temperaturen på ingående vatten till pannan och kännedom om pannans arbetstryck, kan det teoretiska energiflödet till hygieniseringsprocessen beräknas. För att rimlighetsbedöma resultatet jämfördes denna energimängd med den, via olja och gas, kända tillförda energin till pannan.

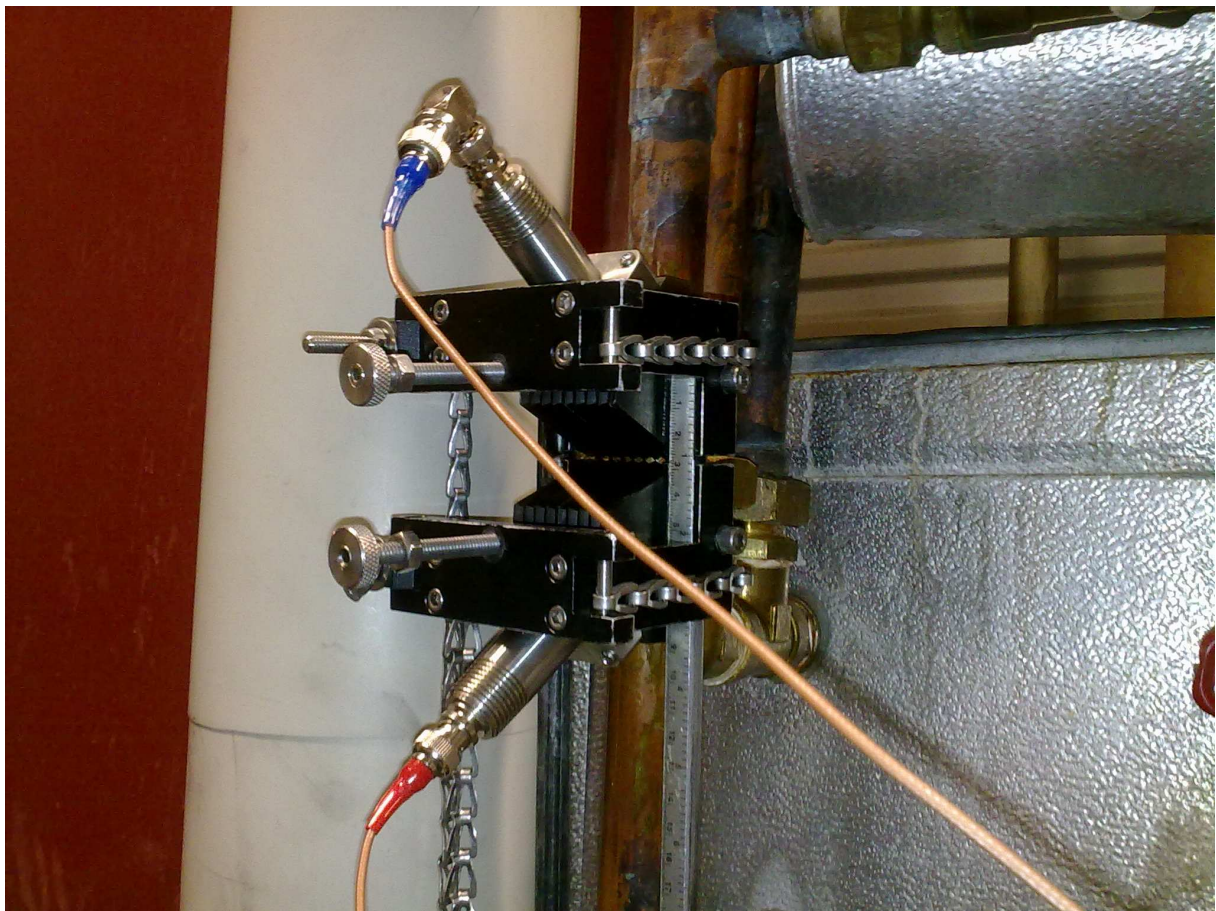


Bild 3 visar monterad flödesmätare för flödesmätning av matarvattnet. Foto: Mats Andersson.

7.23 Kartläggning av värme

Med värme menas i detta examensarbete all värme utom värmetransport via ånga. Den tillförda energin till pannan används i princip för två ändamål, hygienisering och rötkamrarna. En mindre del används även till att värma upp lokaler via radiatorer och varmluftsfläktar, något som inte utreds närmare i detta projekt. Värmeflöden förekommer på fler platser i

anläggningen, men handlar då om värmeväxling av olika typer, där ingen värmeenergi direkt från pannan används.

Under projektets gång har endast en av anläggningens två rötkamrar varit i drift. Detta leder till att endast den drifttagna rötkammaren undersökts. Uppvärmningen eller snarare varmhållningen av rötkammaren sker via värmeväxlare, där varmvatten från pannan växlas mot rötningssubstratet från rötkammaren. För att ta reda på hur mycket värme som avgetts till rötkammaren mättes temperaturen, se *Bild 4*, in till värmeväxlaren och på returvattnet till pannan. Termometrarna anslöts till anläggningens styrsystem så att loggning av värden kunde ske. Även flödet måste vara känt för att beräkna energiflödet. Under projektet fanns endast tillgång till en portabel flödesmätare, som redan användes, vilket gjorde att en annan metod för att ta reda på flödet valdes. Maxkapaciteten på cirkulationspumpen inventerades och dess drifttid loggades. Med vetskap om att cirkulationspumpen alltid går på maxkapacitet, ger multiplikation av maxkapaciteten och drifttiden ett värde på vattenflödet. Flera olika typer av termometrar och flödesmätare användes, dels anläggningens permanenta och dels de temporärt monterade.

Värmeväxlingssystemet för värmeåtervinning av utgående material ur hygieniseringstanken samt rötkammaren undersöktes. Med termometrar, som anslöts till anläggningens styrsystem, loggades temperaturen före och efter respektive värmeväxlarenhet. Flödet loggades med hjälp av befintliga flödesmätare. I och med att värmeväxling delvis sker med rötningssubstrat av varierande sammansättning skiljer sig den specifika värmekapaciteten något åt. Detta utreddes i ett separat tilläggsexperiment i projektet.

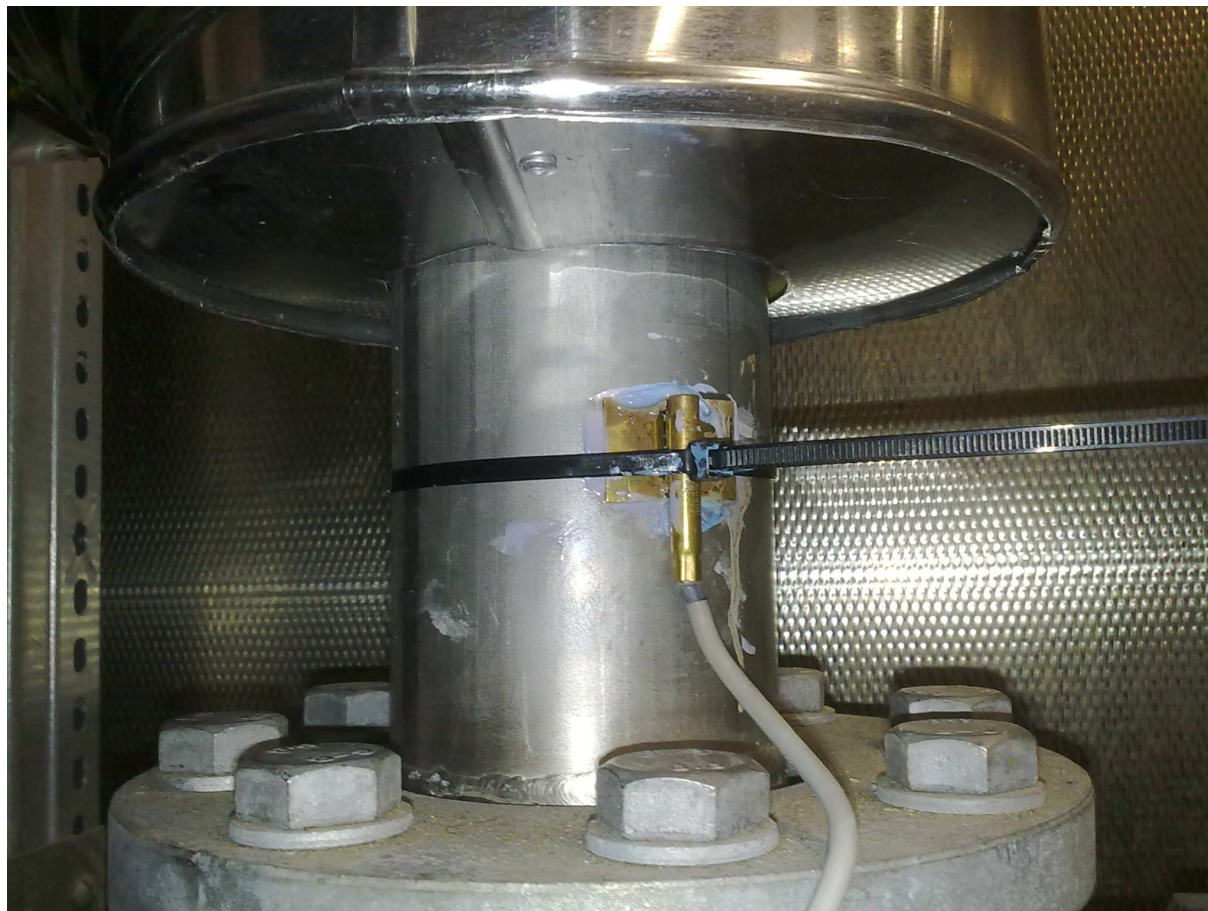


Bild 4 visar monterad temperaturgivare innan isolering. Foto: Mats Andersson.

7.24 Invägning

Allt material som tas emot till anläggning vägs. Detta görs av två anledningar, dels för att få kontroll över inflödet av substrat och dels för att betalning sker per levererad vikt.

Anläggningen har två mottagningsstationer, en för paketerat hushållsavfall och en för opaketerat material. Total vikt som passerat genom respektive mottagningsficka registrerades separat. Under examensarbetets gång uppkom driftstörningar hos vågen. Detta ledde till att vissa leveransers vikt uppskattades. Uppskattningen gjordes av chaufförerna, som har relativt god uppfattning om lastens vikt. Detta är ändå något som är värt att notera.

7.25 Specifik värmekapacitet

Anledningen till att ett experiment riktat till att ta reda på rötningssubstratets specifika värmekapacitet genomfördes var för att den bedömdes skilja sig väsentligt från vattnets specifika värmekapacitet. Värt att notera kring detta experiment är att det endast ska ses som en orienterande experiment för att ta fram ett ungefärligt värde på substratets specifika värmekapacitet. Målet med experimentet var att få en uppskattning om rötningssubstratets specifika värmekapacitet som var bättre än antagandet om att den är densamma som för vatten.

7.25.1 Uppställning

Experimentet går ut på att med hjälp av vatten med känd specifik värmekapacitet ta fram den okända specifika värmekapaciteten för rötningssubstratet. För ändamålet behövs en välisolerad låda, vilken antas vara ”idealt isolerad” – se teoriavsnittet i bilaga 2. Lådan konstrueras i cellplast p.g.a. dess isolerande egenskaper, se *Bild 5*.

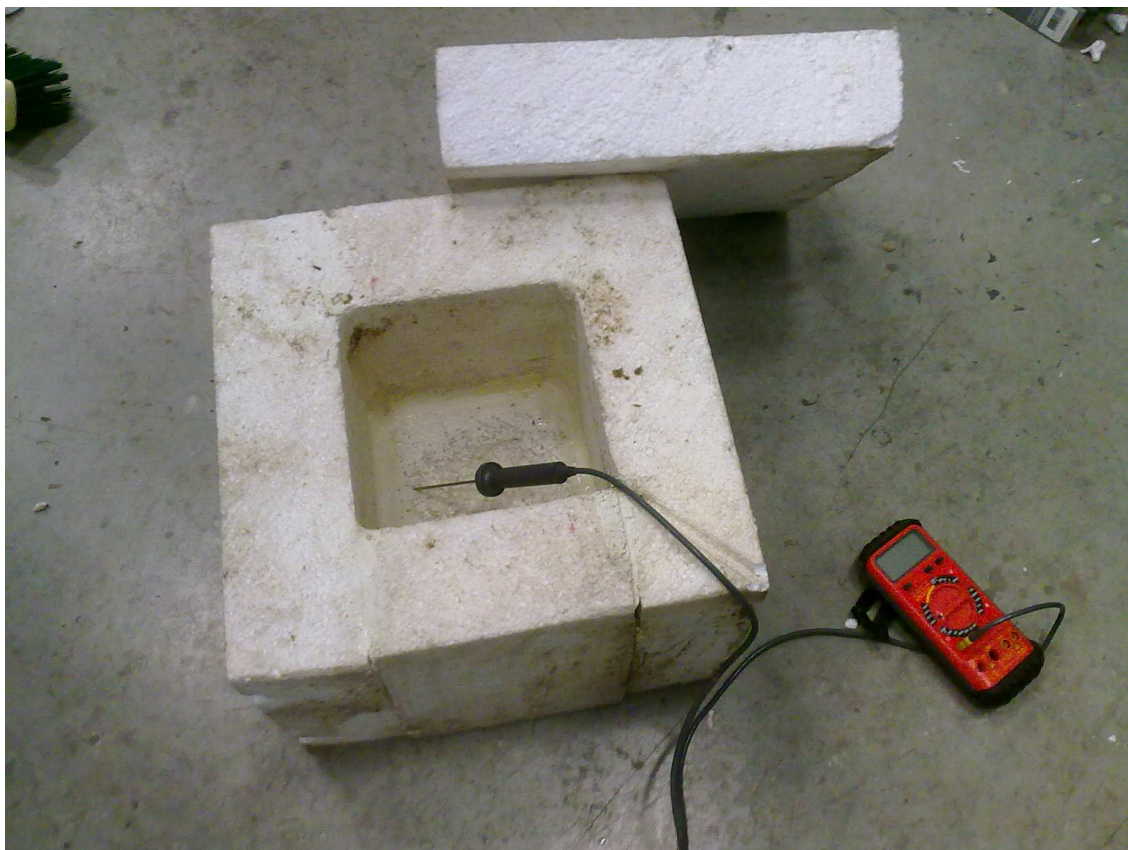


Bild 5 visar cellplastlådan med innermått 0,2 x 0,2 x 0,2 m. Lådans samtliga väggar, botten och lock var alla 0,1 m tjocka. Foto: Mats Andersson.

I lådan blandas vatten, med uppmätt massa och temperatur, med rötningsmaterial, också med uppmätt massa och temperatur. Lådan försluts med ett lock och sedan inväntas att en balanstemperatur nås, dvs. då all massa i behållaren har samma temperatur. Denna temperatur mäts upp. Sedan kan den specifika värmekapaciteten för rötningssubstratet lösas ut enligt teoriavsnittet i bilaga 2.

7.25.2 Utförandet

Den specifika värmekapaciteten behövde undersökas på tre olika mätpunkter i anläggningen. Detta beror på att rötningssubstratet ändrar sammansättning under processens gång. De tre punkterna som valdes var:

1. före hygieniseringen
2. efter hygienisering och sandavvattning
3. efter rötammaren

Dessa tre provpunkter utvärderades vid två olika tidpunkter á två försök per gång för att öka representativiteten hos experimentet. Dessutom gjordes ett referensexperiment med vatten för att säkerställa att experimentsuppställningen fungerade tillfredställande för ändamålet. Vid varje tidpunkt togs även ett substratprov för analys av torrsbstanshalt samt glödförlust.

8 Beräkningar

Eftersom beräkningarna skiljer sig något åt mellan de olika undersökta områdena ges en kort sammanställning över de olika beräkningarna. Beräkningarna utfördes med hjälp av ett dataprogram med en för ändamålet konstruerad beräkningskod, som programmerades från grunden. För utförligare beräkning, se bilaga 3.

8.1 Elektricitet

De erhållna loggfilerna över drifttiden innehöll enhetsoperationens namn och drifttid i totalt antal sekunder. Dessa filer tillsammans med en fil innehållande installerad effekt matchades så att rätt enhetsoperation parades ihop med rätt drifttid och effekt. För varje sökt flöde kunde sedan följande samband användas:

$$E = P * h \quad (1)$$

där,

E	= Elenergi	[kWh]
P	= installerad effekt	[kW]
h	= drifttid	[h]

E blir här den totala elanvändningen för respektive enhetsoperation under mätperioden.

8.1.1 Nyckeltal 1

Under samma period som elanvändningen mättes registrerades även vikten för mottaget substrat. Med följande formel tas *Nyckeltal 1* fram:

$$\text{Nyckeltal 1} = E / m \quad (2)$$

där,

<i>Nyckeltal 1</i>	= Elenergi per mottagen vikt	[kWh/ton]
<i>E</i>	= Elenergiåtgång per enhetsoperation	[kWh]
<i>m</i>	= mottagen vikt	[ton]

8.1.2 Nyckeltal 2

Intressant var även att veta hur stor del av den totala elenergin som går åt i hushållsmottagningsfickan, d.v.s. mottaget substrat med emballage. Detta nyckeltal beräknas utifrån elenergiåtgång i hushållsblocket per vikt substrat som tagits emot genom hushållsfickan jämfört med total elenergiåtgång per vikt totalt mottaget substrat.

$$\text{Nyckeltal 2} = (E_{\text{hushåll}} / m_{\text{hushåll}}) / (E_{\text{total}} / m_{\text{total}}) \quad (3)$$

där,

<i>Nyckeltal 2</i>	= Hur stor elenergiförbrukningen är i hushållsmottagningen jämfört med totalelenergiförbrukning	[1]
<i>E_{hushåll}</i>	= Elenergiåtgång i hushållsmottagningen	[kWh]
<i>m_{hushåll}</i>	= Mottagen vikt substrat genom hushållsmottagningen	[ton]
<i>E_{total}</i>	= Elenergiåtgång i hela anläggningen	[kWh]
<i>m_{total}</i>	= Mottagen vikt totalt i anläggningen	[ton]

8.2 Ånga

Ånga används endast i hygieniseringsprocessen, nedan följer en beräkningssammanfattning för energiåtgången för ångproduktion till hygieniseringsprocessen.

8.2.1 Ångproduktion

Beräkningen av energiåtgången vid hygieniseringsprocessen beräknades enligt följande.

$$Q_{\text{vatten in}} = V_{\text{vatten}} \cdot \rho_{\text{vatten}} \cdot i_{\text{vatten in}} \quad (4)$$

där,

<i>Q_{vatten in}</i>	= Energi in till pannan	[kJ]
<i>V</i>	= Total volym in till matarvattentanken under mätperioden	[dm ³]
<i>ρ_{vatten}</i>	= Densiteten på vatten	[kg/dm ³]
<i>i_{vatten in}</i>	= Entalpi för vattnet in till pannan	[kJ/kg]

$$Q_{164} = V_{164} \cdot \rho_{164} \cdot i_{164} \quad (5)$$

där,

Q_{164}	= Energi som vattnet har vid 164 °C, dvs. strax under kokpunkten vid 7 bar	[kJ]
V_{164}	= Total volym som värmts upp till 164 °C	[dm ³]
ρ_{164}	= Densiteten på vatten vid kokpunkt	[kg/dm ³]
i_{164}	= Entalpi för vattnet vid 164 °C	[kJ/kg]

$$Q_{\text{ånga}} = V_{\text{ånga}} \cdot \rho_{\text{ånga}} \cdot i_{\text{ånga}} \quad (6)$$

där,

$Q_{\text{ånga}}$	= Energi som krävs för att fasbyte till ånga	[kJ]
$V_{\text{ånga}}$	= Total volym som ska byta fas	[dm ³]
$\rho_{\text{ånga}}$	= Densiteten på vatten vid kokpunkt	[kg/dm ³]
$i_{\text{ånga}}$	= Ångbildningsentalpi	[kJ/kg]

Med ekvation (4), (5) och (6) erhålls

$$Q_{\text{tillföra ånga}} = (Q_{164} - Q_{\text{vatten in}} + Q_{\text{ånga}}) / \eta_{\text{panna}} \quad (7)$$

där,

$Q_{\text{tillföra ånga}}$	= Tillförd energi för att producera ånga av den totala mängden vatten in till matarvattentanken.	[kJ]
η_{panna}	= Pannverkningsgraden	[1]

8.2.2 Nyckeltal 3

$$\text{Nyckeltal 3} = Q_{\text{tillföra ånga}} / (m_{\text{substrat}} \cdot 3600) \quad (8)$$

där,

Nyckeltal 3	= Energiåtgång per mottaget substrat för att producera ånga till hygieniseringen	[kWh/ton]
m_{substrat}	= Totalt mottagen vikt substrat under mätperiod	[ton]
3600	= Omräkningsfaktor mellan J och Wh	

8.3 Värme

Värmetransport, som tidigare definierades som all värmetransport utom via ånga, förekommer på vid olika enheter i processen. Nedan följer en beräkningssammanfattning för respektive del.

8.3.1 Värmetillförsel rötkammare

Energi överförd till rötkammaren under mätperioden, beräknades enligt följande:

$$Q_{\text{tillföra RK}} = V_{\text{passerad}} \cdot \rho_{\text{vatten}} \cdot c_{p, \text{vatten}} \cdot \Delta T / \eta_{\text{panna}} \quad (9)$$

där,

$Q_{\text{tillföra RK}}$	= Energiåtgång för att varmhålla rötkammaren	[kJ]
V_{passerad}	= Total mängd vatten som har passerat genom värmeväxlaren	[m ³]

	under mätperioden	
ρ_{vatten}	= Densiteten för vatten	[kg/m ³]
$c_{p, \text{vatten}}$	= Specifik värmekapacitet	[kJ/(kg·K)]
ΔT	= Temperaturskillnaden för och efter värmeväxlaren	[K]
η_{panna}	= Pannverkningsgraden	[1]

8.3.2 Nyckeltal 4

$$\text{Nyckeltal 4} = Q_{\text{tillföra RK}} / (m_{\text{substrat}} \cdot 3600) \quad (10)$$

där,

Nyckeltal 4	= Energiåtgång per mottagen vikt substrat för att varmhålla röt-kammaren	[kWh/ton]
m_{substrat}	= Mottagen vikt substrat till anläggningen	[ton]
3600	= Omräkningsfaktor mellan J och Wh	[1]

8.3.3 Värmetillförsel till övrig verksamhet

För att beräkna värmeenergiebehovet till övrig verksamhet, dvs. varmhållning av lokaler etc. används följande formel:

$$Q_{\text{övrig}} = Q_{\text{total}} - (Q_{\text{tillföra ånga}} + Q_{\text{tillföra RK}}) / 3600 \quad (11)$$

där,

$Q_{\text{övrig}}$	= Värmeenergiåtgång i den övriga anläggningen under mätperioden	[kWh]
Q_{total}	= Total värmeenergi tillförd systemet via bränsle under mätperioden	[kWh]
3600	= Omräkningsfaktor mellan J och Wh	[1]

8.3.4 Nyckeltal 5

$$\text{Nyckeltal 5} = Q_{\text{övrig}} / m_{\text{substrat}} \quad (12)$$

där,

Nyckeltal 5	= Övrig värmeenergiåtgång per mottagen vikt substrat i anläggningen under mätperioden	[kWh/ton]
m_{substrat}	= Mottagen vikt substrat till anläggningen	[ton]

8.3.5 Förlorad spillvärme

För att beräkna mängden energi som går förlorad med rötresten gjordes följande beräkning:

$$Q_{\text{spill}} = V_{\text{spill}} \cdot \rho_{\text{substrat}} \cdot c_{p1} \cdot T_{\text{medel ut}} - V_{\text{in}} \cdot \rho_{\text{substrat}} \cdot c_{p2} \cdot T_{\text{medel in}} \quad (13)$$

där,

Q_{spill}	= den förlorade värmeenergin av den tillförda energin	[kJ]
V_{spill}	= Total mängd substrat som bortfördes under mätperioden	[m ³]
ρ_{substrat}	= Densiteten för substratet, antas vara samma som vatten	[kg/m ³]

c_{p1}	= Specifik värmekapacitet i rötresten	[kJ/(kg·K)]
$T_{medel\ ut}$	= Medeltemperaturen för utgående rötrest	[K]
V_{in}	= Total mängd volym substrat som togs in i anläggningen	[m ³]
$\rho_{substrat}$	= Densiteten för substratet, antas vara samma som vatten	[kg/m ³]
c_{p2}	= Specifik värmekapacitet i substratet före hygienisering	[kJ/(kg·K)]
$T_{medel\ ut}$	= Medeltemperaturen för inkommande material	[K]

8.3.6 Nyckeltal 6

$$Nyckeltal\ 6 = Q_{spill} / (m_{substrat} \cdot 3600) \quad (14)$$

där,

$Nyckeltal\ 6$	= Förlorad värmeenergi via rötresten per mottagen vikt substrat	[kWh/ton]
$m_{substrat}$	= Mottagen vikt substrat till anläggningen	[ton]
3600	= Omräkningsfaktor mellan kJ och kWh	[1]

8.3.7 Värmeåtervinning vid värmeväxling av hygieniseringsprocessen

För att kvantifiera hur mycket värmeenergi som kan återvinnas vid värmeväxlingen av hygieniseringsprocessen gjordes följande beräkning:

$$Q_{upptagen\ 1} = V_1 \cdot \rho_{substrat} \cdot c_{p2} \cdot \Delta T \quad (15)$$

där,

$Q_{upptagen\ 2}$	= den upptagna energin vid värmeväxling	[kJ]
V_1	= Total mängd substrat som värmeväxlats under mätperioden	[m ³]
$\rho_{substrat}$	= Densiteten för substratet, antas vara samma som vatten	[kg/m ³]
c_{p2}	= Specifik värmekapacitet för substratet före hygienisering	[kJ/(kg·K)]
ΔT	= Temperaturskillnaden före och efter värmeväxlaren	[K]

$$Q_{tillförd\ hyg} = Q_{tillföra\ ånga} \cdot \eta_{panna} \quad (16)$$

där,

$Q_{tillförd\ hyg}$	= den tillförda energin i hygieniseringsprocessen	[kJ]
$Q_{tillföra\ ånga}$	= tillförd energi till pannan för att producera ånga till hygieniseringen	[kJ]
η_{panna}	= Pannverkningsgraden	[1]

Med ekvation (15) och (16) fås:

$$\dot{A}_{ter\ vvx1} = Q_{upptagen\ 1} / (Q_{tillförd\ hyg} + E_{pump}) \quad (17)$$

där,

$\dot{A}_{ter\ vvx1}$	= återvinningsgrad i värmeväxlaren	[1]
E_{pump}	= Elenergiåtgång för cirkulationskretsen	[kJ]

8.3.8 Värmeåtervinning vid värmeväxling av rötrest

För att kvantifiera hur mycket värmeenergi som kan återvinnas vid värmeväxlingen av rötresten gjorde följande beräkning:

$$Q_{upptagen\ 2} = V_1 \cdot \rho_{substrat} \cdot c_{p2} \cdot \Delta T \quad (18)$$

där,

$Q_{upptagen\ 2}$	= Den upptagna energin vid värmeväxling	[kJ]
V_1	= Total mängd substrat som värmeväxlats under mätperioden	[m ³]
$\rho_{substrat}$	= Densiteten för substratet, antas vara samma som vatten	[kg/m ³]
c_{p2}	= Specifik värmekapacitet för substratet före hygienisering	[kJ/(kg·K)]
ΔT	= Temperaturskillnaden före och efter värmeväxlaren	[K]

$$Q_{avgiven} = V_2 \cdot \rho_{substrat} \cdot c_{p1} \cdot \Delta T \quad (19)$$

där,

$Q_{avgiven}$	= Den avgivna energin vid värmeväxling	[kJ]
V_2	= Total mängd substrat som värmeväxlats under mätperioden	[m ³]
$\rho_{substrat}$	= Densiteten för substratet, antas vara samma som vatten	[kg/m ³]
c_{p1}	= Specifik värmekapacitet i rötresten	[kJ/(kg·K)]
ΔT	= Temperaturskillnaden före och efter värmeväxlaren	[K]

$$\eta_{v vx2} = Q_{upptagen\ 2} / (Q_{avgiven} + E_{pump}) \quad (20)$$

där,

$\eta_{v vx2}$	= verkningsgrad i värmeväxlaren	[1]
E_{pump}	= Elenergiåtgång för cirkulationskretsen	[kJ]

$\eta_{v vx2}$ säger inget om hur mycket av det totala tillförda energiflödet till värmeväxlaren som återvinns. För att beräkna detta gjordes följande beräkning:

$$\dot{A}ter_{v vx2} = Q_{upptagen\ 2} / (V_{ut} \cdot \rho_{substrat} \cdot c_{p1} \cdot T_{medel\ ut} - V_{in} \cdot \rho_{substrat} \cdot c_{p2} \cdot T_{medel\ in} + E_{pump}) \quad (21)$$

där,

$\dot{A}ter_{v vx2}$	= Återvinningsgrad i värmeväxlaren	[1]
$Q_{upptagen\ 2}$	= Den upptagna energin vid värmeväxling	[kJ]
V_{ut}	= Total mängd substrat som bortfördes under mätperioden	[m ³]
$\rho_{substrat}$	= Densiteten för substratet, antas vara samma som vatten	[kg/m ³]
c_{p1}	= Specifik värmekapacitet i rötresten	[kJ/(kg·K)]
$T_{medel\ ut}$	= Medeltemperaturen för utgående rötrest	[K]
V_{in}	= Total mängd volym substrat som togs in i anläggningen	[m ³]
$\rho_{substrat}$	= Densiteten för substratet, antas vara samma som vatten	[kg/m ³]
c_{p2}	= Specifik värmekapacitet i substratet före hygienisering	[kJ/(kg·K)]
$T_{medel\ in}$	= Medeltemperaturen för inkommande material	[K]
E_{pump}	= Elenergiåtgång för cirkulationskrets	[kJ]

8.4 Energiåtgång per vikt

Eftersom det skiljer fyra dagar mellan mätserien för värme respektive elektricitet, lades fyra ”medeldagar” för elförbrukningen till.

$$E_{el} = (E_{el\ 41} / 41) \cdot 45 \quad (22)$$

På detta sätt läggs fyra ”medeldagar” till för elförbrukningen, vilket gör att mätperioderna för el respektive värme bli lika långa. För att ta fram den totala energiåtgången beräknas följande:

$$E_{tot} = E_{el} + E_{bränsle} \quad [\text{kWh}]$$

där,

E_{tot}	= Den totala förbrukningen under 45 dagar	[kWh]
E_{el}	= Elförbrukning under 45 dagar	[kWh]
$E_{bränsle}$	= Tillförd energi via bränsle under 45 dagar	[kWh]

Observera att ingen hänsyn tas till energivärdet för el respektive värme. Detta tas upp under rubriken ”Diskussion”.

Energiåtgång per vikt beräknas enligt följande:

$$E_{el\ per\ vikt} = E_{el} / m_{substrat} \quad (23)$$

$$E_{bränsle\ per\ vikt} = E_{bränsle} / m_{substrat} \quad (24)$$

$$E_{tot\ per\ vikt} = E_{tot} / m_{substrat} \quad (25)$$

där,

$E_{el\ per\ vikt}$	= Elenergiåtgång per vikt substrat	[kWh/ton]
$E_{bränsle\ per\ vikt}$	= Bränsleenergiåtgång per vikt substrat	[kWh/ton]
$E_{tot\ per\ vikt}$	= Total energiåtgång per vikt substrat	[kWh/ton]
$m_{substrat}$	= Totalt mottagen vikt substrat under mätperioden	[ton]

8.5 Värmeförlust med gas

För att beräkna hur mycket värme som förs bort med rågasen från rötammaren har en teoretisk beräkning genomförts. För uträkningen görs två antaganden. För det första antas det att det är vattenånga i rågasen som står för den allra största värmeposten. För det andra antas rågasen vara mättat med vattenånga. Vid 52°C har vattenånga en densitet⁴¹ på 0,0908 kg/m³ i mättad luft. Detta värde antas vara det samma för rågasen. Tabellvärde för vattenångans entalpi är 2590 kJ/kg⁴². Totalt producerades 269 145 m³ rågas under mätperioden.

$$E_{bort\ med\ gas} = (\rho_{vatten,\ ångfas} \cdot V_{gas} \cdot i_{ånga, 52}) / (m_{substrat} \cdot 3600) \quad (26)$$

där,

$E_{bort\ med\ gas}$	= Värmemängd som förs bort med rågasen per ton mottaget	[kWh/ton]
----------------------	---	-----------

⁴¹ Nordling, Carl et al. (2006)

⁴² Alvarez, Henrik (2006)

	substrat	
$\rho_{\text{vatten, ångfas}}$	= Vattenångans densitet	[kg/m ³]
V_{gas}	= Total volym gas som lämnat rötkammaren under mätperioden	[m ³]
$i_{\text{ånga, 52}}$	= Entalpi för vattenånga	[kJ/kg]
m_{substrat}	= Totalt mottaget substrat under mätperioden	[ton]
3600	= Omräkningsfaktor från kJ till kWh	[1]

9 Resultat

Resultaten presenteras i enlighet med beräkningsförfarandet. Även resultaten för experimenten kring specifik värmekapacitet presenteras här.

9.1 Resultat elektricitetskartläggning

Nedan redovisas resultaten rörande kartläggningen av elektricitet.

Notera att kolumnen med procentangivelsen är uträknad från den totala uppskattade energiåtgången under 41 mät dagar och respektive enhetsoperations elenergiförbrukning under denna period.

Tabell 1 redovisar sökta elenergiflöden per vikt substrat från figur 5-24. Flödeshänvisningen återfinns även i respektive blockschema. Tabellen innehåller Nyckeltal 1 för respektive flöde. Flödena presenteras i kWh/ton och som procent av total elenergianvändning.

Block	Flöde	kWh/ton	%	Nyckeltal
HH-mottagning				
Totalt in, el	1	11	8,2	1
Mottagarficka	1.1	0,57	0,41	1
Påsöppnare	1.2	4,8	3,5	1
Sikt	1.3	0,42	0,3	1
Matarskruvar	1.4	5,5	4,0	1
Tippfickan				
Totalt in, el	2	6,3	4,6	1
Tippfickan	2.1	3,5	2,5	1
Matarskruvar	2.2	2,8	2,1	1
Förbehand. Buffert.				
Totalt in, el	3	34	25	1
Pulper 1	3.1	4,9	3,5	1
Pulper 2	3.2	4,9	3,6	1
Sed.tank 1	3.3	0,02	0,014	1
Sed.tank 2	3.4	0,001	0,0007	1
Sandavvattnare	3.5	0,36	0,26	1
Matarskruv	3.6	0,35	0,25	1
Dispergering	3.7	22	16	1
Sed.Pumpar	3.8	1,3	0,92	1
Lågtrycksluft				
Totalt in, el	4	2,5	1,8	1
Lågtrycksluft	4.1	2,5	1,8	1
Högtrycksluft				
Totalt in, el	5	1,9	1,4	1
Högtrycksluft	5.1	1,9	1,4	1
Silgaller mm.				
Totalt in, el	6	4,2	3,1	1
Silgaller	6.1	0,18	0,13	1
Pump f. Silgaller	6.2	0,67	0,48	1
Matarskruvar	6.3	2,2	1,6	1
Rejektpress	6.4	1,2	0,87	1
Spolvatten				
Totalt in, el	7	1,2	0,88	1
Spolvattenpump	7.1	1,2	0,88	1
Spädning				
Totalt in, el	8	0,1	0,07	1
Spädningspump	8.1	0,1	0,07	1
Buffertankar				
Totalt in, el	9	21	15	1
Gammal buffert.	9.1	10	7,5	1
Ny buffert. 1	9.2	4,4	3,2	1
Ny buffert. 2	9.3	6,1	4,4	1
Cirk. Pumpar				
Totalt in, el	10	1,2	0,9	1
Pump 1	10.1	1,2	0,9	1
Pump 2	10.2	0,02	0,02	1

Tabell 2 redovisar sökta elenergiflöden per vikt substrat. Flödes hänvisningen återfinns även i respektive blockschema. Tabellen innehåller Nyckeltal 1. Flödena presenteras i kWh/ton och som procent av total elenergianvändning.

Block	Flöde	kWh/ton	%	Nyckeltal
Hygienisering				
Totalt in, el	11.1	6,2	4,5	1
Pump g. buffert.	11.1.1	0,69	0,5	1
Pump ny buffert 1	11.1.2	1,1	0,78	1
Pump ny buffert 2	11.1.3	0	0	1
VVX-pump	11.1.4	1,1	0,83	1
VVX-pump	11.1.5	0	0	1
VVX-pump	11.1.6	1,1	0,83	1
Hyg. tank 1	11.1.7	0,78	0,57	1
Hyg. tank 2	11.1.8	0,80	0,58	1
Hyg. tank 3	11.1.9	0,56	0,40	1
Matarskruvar	11.1.10	0,04	0,03	1
VVX-pump	11.1.11	0	0	1
In och ut RK				
Totalt in, el	12	4,8	3,5	1
Pump f. hyg	12.1	2,4	1,8	1
Pump 1, rötrestt.	12.2	0	0	1
Pump 2, rötrestt.	12.3	2,4	1,7	1
Rötkammare				
Totalt in, el	13.1	27	20	1
Cirk.pump 1	13.1.1	0	0	1
Cirk.pump 2	13.1.2	9,4	6,8	1
Cirk.pump 3	13.1.3	2,5	1,8	1
RK 1	13.1.4	0,03	0,03	1
RK 2	13.1.5	15	11	1
Rötresttank				
Totalt in, el	14	5,5	4,0	1
Rötrestomrörning	14.1	5,2	3,8	1
Pump	14.2	0,34	0,25	1
Pannan				
Totalt in, el	15.1	1,3	0,91	1
Cirk.pumpar	15.1.1	1,3	0,91	1
Gaskyl. Gasklockan				
Totalt in, el	16	x	x	1
Kylmaskin	16.1	x	x	1
Gasklockan				
Totalt in, el	17	0,91	0,66	1
Gaskomp.	17.1	0,91	0,66	1
Gasomrörning				
Totalt in, el	18	0	0	1
Gasomrörning	18.1	0	0	1
Leverans				
Totalt in, el	19	10	7,3	1
Kylmaskin	19.1	X	X	1
Komp. 1	19.2	5,7	4,1	1
Komp. 2	19.3	4,4	3,2	1

I *Tabell 2* återfinns några flöden med värdet "0", detta förklaras närmare i diskussionen.

I resultattabell *Tabell 2* är flöde 16.1 och 19.1 markerade med ett "x". Dessa två flöden är anläggningens två kylmaskiner. Anledningen till att inget resultat presenteras för dessa två beror på att drifttid för respektive kylmaskin saknas, utöver det faktum att en uppskattning redan gjorts angående deras effekt. Ett försök till att uppskatta deras drifttid gjordes, dock med resultat att elenergiförbrukningen blev orimligt hög, ca 64 400 kWh eller 55 kWh/ton. Av detta skäl uteslöts därför kylmaskinernas resultat som var baserad på uppskattningsmetoden.

För att få en uppskattad elenergiåtgång för kylmaskinerna kan beräkningar utifrån flöde 13.2.4 – värmeförlust med gas, göras. Kylmaskinerna används till att kyla rågasen från rötkammaren. Detta görs i två steg: efter rötkammaren och efter tryckhöjningen innan leverans till uppgraderingsverket. Energiåtgången för temperatursänkningen efter tryckhöjningen antas vara försumbar. Ur *Tabell 2* erhålls att ca 10 kWh/ton måste kylas bort. En kylmaskin kan antas ha en köldfaktor, Φ , på 3⁴³. Köldfaktorn är ett mått på hur effektivt kylmaskinen arbetar. En köldfaktor på 3 innebär att det erfordras 1 kWh för att kyla bort 3 kWh värme. En grov uppskattning, som ändå är bättre än att estimerar både effekten och drifttiden, är därför att göra följande beräkning:

$$E_{\text{kylmaskiner}} = E_{\text{kylbehov}} / \Phi$$

där,

$E_{\text{kylmaskiner}}$	= Totalt elenergiförbrukning för de båda kylmaskinerna	[kWh/ton]
E_{kylbehov}	= Kylbehovet	[kWh/ton]
Φ	= Köldfaktorn	[1]

Med insatta värden erhålls:

$$E_{\text{kylmaskiner}} = 3,3 \text{ kWh/ton}$$

Antag att den procentuella fördelningen av energiåtgång från *Tabell 1 och 2* stämmer med verkligheten och att uppskattningen att alla enhetsoperationer går på märkeffekt är procentuellt lika "fel" för alla enhetsoperationer. Med den kända, verkliga, förbrukningen av elektricitet under mätperioden (förlängd med fyra medeldagar) om 139 010 kWh och den totala mottagna vikten på 1 168,9 ton, kan total elförbrukning per vikt tas fram:

$$El_{\text{verklig}} = 139\,010 / 1\,168,9 = 119 \text{ kWh/ton}$$

Om de 12 största förbrukarna tas med i denna jämförelse kan följande tabell tas fram (där den procentuella delen för de 12 största förbrukarna multipliceras med " El_{verklig} "):

⁴³ Lindkvist, Anders, SGC (1997)

Tabell 3 visar en teoretisk jämförelse mellan den enligt metod uppskattade energiåtgången per vikt och en utifrån procentuell fördelning framräknad förbrukning per vikt.

Enhetsoperation	Flöde	Uppskattad förbrukning enligt metod [kWh/ton]	Framtagen "verklig" förbrukning [kWh/ton]
Dispergering	3.7	22	19
RK2, omrörning	13.1.5	15	13,1
Bufferttank, omrörning	9.1, 9.2, 9.3	20,5	18
Cirk.pump RK2	13.1.2	9,4	8,1
Gaskompressor	19.2, 19.3	10,1	8,7
Rötrestomrörning	14.1	5,2	4,5
Pulper, omrörning	3.1, 3.2	9,8	8,4
Påsöppnare	1.2	4,8	4,2

9.1.1 Nyckeltal 2

Detta nyckeltal beskriver i procent hur stor del elenergiåtgången per vikt i hushållsblocket är, jämfört med den totala elenergiåtgången per vikt i anläggningen.

Nyckeltal 2 = 8,5 %

9.2 Resultat värmekartläggning

Nedan presenteras resultaten av ång- och värmekartläggningen. Även resultat kring specifik värmekapacitet presenteras här.

Tabell 4 redovisar sökta värmeenergi flöden per vikt substrat. Flödes hänvisningen återfinns även i respektive blockschema. Tabellen innehåller Nyckeltal 3,4 samt 6. Flödena presenteras i kWh/ton och som procent av total värmeenergiåtgång.

Block	Flöde	kWh/ton	%	Nyckeltal
Hygienisering				
Totalt in, värme	11.2	129	62	3
Hyg. tank 1, värme	11.2.1	43	21	3
Hyg. tank 2, värme	11.2.2	43	21	3
Hyg. tank 3, värme	11.2.3	43	21	3
Rötkammare				
Totalt in, värme	13.2	41	20	4
RK 1, värme	13.2.1	0	0	4
RK 2, värme	13.2.2	41	20	4
Spillvärme rötrest	13.2.3	107	52	6
Värmeförlust med gas	13.2.4	10	5	
Pannan				
Totalt in, bränsle	15.2	207	100	
Bränsle till pannan	15.2.1	207	100	
Ånga	15.2.2	129	62	3
Varmvatten	15.2.3	78	38	

9.2.1 Nyckeltal 5

Detta nyckeltal beskriver övrig värmeenergiåtgång per mottagen vikt substrat. I detta ingår lokaler, uppvärmning av matarvattentank och förluster. Värdet är angivet för energimängden per substrat som måste tillföras via bränslet, således är inte pannverkningsgraden medräknad.

$$\text{Nyckeltal 5} = 37,7 \text{ kWh/ton}$$

9.2.2 Nyckeltal 6

Detta nyckeltal beskriver hur mycket av den tillförda energin som förloras med rötresten. Nyckeltalet återfinns även i *Tabell 4*.

$$\text{Nyckeltal 6} = 107 \text{ kWh/ton}$$

9.2.3 Värmeåtervinning vid värmeväxling av hygieniseringsprocessen

Beskriver hur mycket av den åtgångna energin vid hygieniseringsprocessen som kan återvinnas genom värmeväxling.

$$\text{\AA}ter_{vwx1} = 47,9 \%$$

9.2.4 Värmeåtervinning vid värmeväxling av rötrest

Beskriver verkningsgraden på värmeväxling av rötrest.

$$\eta_{vwx2} = 57,1 \%$$

Beskriver hur mycket av den tillförda energin som kan återvinnas genom värmeväxling av rötrestsubstrat.

$$\text{\AA}ter_{vwx2} = 6,2 \%$$

9.2.5 Specifik värmekapacitet

Nedan presenteras resultaten från experimentet över specifik värmekapacitet samt analysproverna.

Referensprov med vatten:

Försök 1:

$$c_2 = 4.2 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Försök 2:

$$c_2 = 4.25 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Tabellvärde för vatten är $4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ ⁴⁴

⁴⁴ Nordling, Carl et al. (2006)

Tabell 5 visar resultaten från experimenten av specifik värmekapacitet som anges i kJ/(kg·K). Även analysproverna redovisas i procent

		Prov 1	Prov 2		
		C _p [kJ/(kg·K)]	C _p [kJ/(kg·K)]	TS [%]	VS [%]
Före hygienisering Provomgång:	1	3.87	3.85	7.54	87.2
	2	3.52	3.68	11	92
Efter hygienisering Provomgång:	1	3.68	3.59	7.43	90.6
	2	3.73	3.69	9.3	90.7
Efter rötkammaren Provomgång:	1	3.74	3.95	2.19	68.3
	2	3.91	4.07	2.38	70.2

9.3 Energiåtgång per vikt

Beskriver hur mycket energi som användes i anläggningen under mätperioden.

$$\begin{aligned}
 E_{el} &= 177\,102 \text{ kWh} \\
 E_{bränsle} &= 347\,510 \text{ kWh} \\
 E_{tot} &= 524\,612 \text{ kWh} \\
 E_{producerad \text{ gas}} &= 1\,749\,443 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Beskriver hur mycket energi som användes per vikt substrat under mätperioden.

$$\begin{aligned}
 E_{el \text{ per vikt}} &= 152 \text{ kWh/ton} \\
 E_{bränsle \text{ per vikt}} &= 207 \text{ kWh/ton} \\
 E_{tot \text{ per vikt}} &= 359 \text{ kWh/ton} \\
 E_{producerad \text{ gas per vikt}} &= 1044,1 \text{ kWh/ton}
 \end{aligned}$$

9.4 Övergripande anläggningssiffror under mätperioden

Ångpannan förbrukade under mätperioden motsvarande 347 510 kWh bränsle. Den matades under majoritet av tiden med egenproducerad biogas men även en mindre mängd olja förbrukades.

Den totala elförbrukningen under mätperioden var 139 010 kWh. Förbrukningen är avskriven från befintlig elmätare. Denna siffra togs fram genom dagsmedelförbrukningen under två månader multiplicerat med mätperiodens längd. Detta gjordes för att avskrivningen av el endast görs i slutet av varje månad. Enligt uppskattningsmetoden som användes i detta projekt uppgick den totala förbrukningen till 177 102 kWh, då fyra ”medeldaga” av elförbrukning lagts till.

Under mätperioden för elförbrukningen togs totalt 1 168,9 ton emot till anläggningen. Av detta togs 964,7 ton emot genom hushållsmottagningen, d.v.s. en procentandel på 82,53 %.

Under mätperioden för värmeförbrukningen togs totalt 1 675,3 ton emot till anläggningen. Av detta togs 1 411,4 ton emot genom hushållsmottagningen, d.v.s. en procentandel på 84,25 %.

9.4.1 Övergripande anläggningssiffror från 2009

Producerad mängd rågas: 1 500 000 Nm³

Gas till panna: 131 709 Nm³

Ungefärligt energiinnehåll för biogas: 6,5 kWh/Nm³

Olja till panna: 86,9 m³:

Ungefärligt energiinnehåll för olja⁴⁵: 10 MWh/m³

Total bränsleanvändning: 1 725 108 kWh.

Elförbrukning biogasanläggning: 1 025 000 kWh

Anläggningsverkningsgrad = 3,6

Mottaget substrat: 8900 ton

Pannverkningsgrad = 60 %

$E_{tot \text{ per vikt, 2009}}$ = 309 kWh/ton

$E_{producerad \text{ gas per vikt, 2009}}$ = 1096 kWh/ton

⁴⁵ Preem (2010)

11 Diskussion

Diskussionen delas upp i olika områden, en övergripande del samt en del för el, värme respektive ånga.

11.1 Allmänt

Under examensarbetet har delar av anläggningen varit under service, närmare bestämt den äldre rötkammaren. Detta har gjort att en "normaldrift" av anläggningen ej har uppnåtts under projektet. Hur normaldrift ska definieras är inte självklart, då oförutsedda händelser som exempelvis anläggningsstopp ibland inträffar. I detta projekt har det tagits hänsyn till kända driftstopp varvid mätvärden från dessa dagar har uteslutits. Resultaten ska därför ses som energianvändning då anläggningen går. Hur energianvändningen ser ut över tid är svårare att beskriva generellt då det ständigt pågår utveckling och utbyggnation av anläggningen. Ett sätt att beskriva anläggningens energianvändning över tid är genom de valda nyckeltalen. Nyckeltalen blir i någon mening tidsberoende och kan därför användas som jämförelsetal över tid. Nyckeltalen definierades tidigt i projektet och fungerade även som en konkretisering av målet, vilket har varit till god hjälp för att uppnå målet med projektet.

Ett av de sex nyckeltalen har inte enheten [kWh/ton] utan är ett procentuellt tal, *Nyckeltal 2*. Detta nyckeltal beskriver hur stor andel av den totala elenergin som går åt i hushållsmottagningen, dvs. hur mycket extra energi denna förbehandling "kostar". I hushållsmottagningsblocket separeras organiskt material för dess förpackning. Denna förbehandling, som uppgår till ca 8,5 % av den totala elanvändningen, beror till stor del på att Uppsala med omnejd använder plastpåsar vid hushållskompostering. Stora delar av denna elanvändning kan minskas om påsar av nedbrytbart material används, exempelvis papperspåsar. Dock måste nedbrytningen kunna ske relativt snabbt, dvs. under den genomsnittliga uppehållstiden i rötkammaren. Dessutom måste hänsyn tas till samhällsnyttan av att byta kompostpåsar. Att byta befintligt system kostar antagligen stora summor pengar, vilket måste vägas mot nyttan av att spara in elanvändningen på anläggningen.

Andra nyckeltal, som energiverkningsgrad för anläggningen, kan givetvis också vara intressanta att undersöka. Detta ingick inte i detta projekt, utan är endast med som ett jämförande tal. Den totala årsanläggningsverkningsgraden, då hänsyn ej är tagen till energikvalitéskillnaden mellan elektricitet och gas, är 3.6. Detta innebär att för varje kWh tillförd energi, genereras 3.6 kWh biogas. Naturligtvis skapas inte energi i anläggningen, att verkningsgraden är över 1 beror på att energiinnehållt i avfallet anses som "gratis" och inte räknas med. Här är det lätt att hamna i en diskussion om den verkliga nyttan av att omvandla organiskt material till exempelvis fordonsgas, när värdet på energibärare, eller exergin, tas i beaktning. Den typen av diskussion tas inte upp i denna rapport.

I en rapport från Lunds tekniska högskola⁴⁶ anges att Uppsala biogasanläggning har ett värmebehov av 10-20% av det totala energiinnehållet i den producerade biogasen och ett elbehov på ca 11%. Motsvarande siffror för mätperioden i detta projekt är att värmebehovet är ca 20% och elbehovet ca 10% av det totala energiinnehållet i den producerade biogasen.

Jämförande siffror till mätperioden i detta projekt togs fram under rubriken 9.4.1 Övergripande anläggningssiffror från 2009. Energiåtgången per vikt skiljer sig något åt och beror främst på två orsaker. För det första spelar tiden på året in, ju kallare desto mer energi

⁴⁶ Berglund, Maria et. al (2003)

går åt. För det andra så är elektricitetsuppskattningen under mätperioden högre än den verkliga. Detta gör att energianvändningen per vikt under mätperioden blir högre än motsvarande siffra för helåret 2009, då faktisk energiförbrukning användes.

Många energikartläggningar nöjer sig med att uppskatta och inventera energiåtgången på företaget. Detta är en bra metod då övergripande uppfattning om energianvändningen önskas. I detta projekt söktes högre upplösning varvid mätningar var nödvändiga. De mätinstrument som monterades manuellt, dvs. den mätutrustning som inte redan fanns installerad på anläggningen, var temperaturgivare samt flödesmätare. För att få lättillgänglig dataloggning kopplades den nyinstallerade mätutrustningen till anläggningens styrsystem, där alla intressanta mätpunkter kunde sammanställas i ett övervakningsfönster. Ur systemet kunde sedan data hämtas och analyseras. Dock var den av praktiska skäl högsta loggningsfrekvensen som kunde erhållas ca 4 gånger per minut. Ett mindre problem i samband med detta var att flödesmätningarna lagrades med enheten m^3/h eller som l/s . På grund av den relativt låga loggningsfrekvensen fick ett antagande samt en typ av integrering göras. Antagandet var att mellan två loggade värden, dvs. inom en femtonsekundersperiod, hände inget drastiskt med flödet. Sedan räknades den exakta längden mellan loggningarna ut, varvid den multiplicerades med det loggade ögonblicksvärdet på av flödet. Detta ger en typ av primitiv integrering.

I datafilen uppstod ibland luckor med saknade mätvärden. Det kunde bero på elfel av olika slag, anläggningsstopp etc. Eftersom beräkningsprogrammen som användes i detta examensarbete kräver obrutna mätserier utan luckor, interpolerades de saknade värdena fram. Interpoleringen var linjär utifrån det sista loggade värdet innan bortfallet och det första loggade värdet efter.

Mätseriens avsågs först att löpa under tio veckor, dvs. 70 dagar, men blev betydligt kortare. Detta berodde på att de första metoderna som skulle användes för att ta fram elförbrukningen inte fungerade, vilket gjorde att tid krävdes för att utforma en ny metod. Även problem med leveranser av mätutrustning bidrog till den kortare mätserien. Mätseriens längd blev dock tillfredställande lång. Här bör påpekas att en mätserie över hela året vore önskvärt för att få en helt representativ mätserie. Utomhustemperaturen påverkar exempelvis energiförbrukningen, vilket gör att tidpunkten på året påverkar en kortare mätserie. Mätserien i detta projekt är insamlad under oktober och november. Även substratets sammansättning, eller rättare substratets medelsammansättning, blir mer representativt under en längre mätperiod.

I beräkningarna antogs att substratets densitet var det samma som för vatten. Detta är en förenkling, men några omfattanden utredningar om substratets verkliga densitet fanns ej tidsutrymme för.

I *Tabell 2* är några energiflöden ”0”. Förklaring till detta är:

- Flöde 11.1.3 är en pump från en av bufferttankarna till hygieniseringen. Denna bufferttank har använts som ”smutsig” (se anläggningsbeskrivningen) vilket gör att inget material har pumpats direkt från den till hygieniseringen och därav blir drifttiden noll
- Flöde 11.1.5 är en tvillingpump på en av vattenkretsarna till värmeväxlingen vid hygieniseringen. Denna pump har inte använts.
- Flöde 11.1.11 är även den en tvillingpump på en av vattenkretsarna till värmeväxlingen vid hygieniseringen och har inte använts

- Flöde 12.2 är en pump vid rötkammare 1, dvs. den rötkammare som ej har varit i drift under examensarbetet. Pumpen har inte använts
- Flöde 13.1.1 är en cirkulationspump för värmeväxlingen till rötkammare 1, dvs. den rötkammare som ej varit i drift under examensarbetet. Pumpen har inte använts
- Flöde 13.2.1 är värmeflödet till rötkammare 1 och eftersom den inte har varit i drift sker inget värmeflöde dit
- Flöde 18 och 18.1 är samma flöde och är gasomrörningen. Denna typ av omrörning har inte använts under mätperioden vilket gör att drifttiden är noll

11.2 Elektricitet

För att mäta den totala använda elenergin var första angreppssättet att använda anläggningens befintliga styrsystem. De intressanta elförbrukarna var frekvensstyrda vilket i praktiken gör att det är svårt att säga exakt vilket effekt som används. Genom frekvensstyrningen kan information loggas. Förhoppningen var att utparametern ”total ackumulerad energi” fanns för samtliga frekvensomriktare. Utparametern fanns för ca hälften av frekvensomriktarna och eventuellt för andra hälften. Utredningen kring huruvida denna utparameter fanns drog ut på tiden och övergavs därför. Ett andra alternativ var att genom frekvensomriktaren logga vridmomentet samt vinkelfrekvensen för respektive enhetsoperation. Denna metod krävde manuell programmering av samtliga berörda frekvensomriktare, vilket också var tidsödande. Även försök till att räkna fram effekten i varje ögonblick genom vissa kända parameter misslyckades då fler parametrar krävdes. För att få tillgång till de okända parametrarna krävdes liknande manuell programmering av samtliga frekvensomriktare, något som inte genomfördes. Fler kontakter togs i detta ärende, bl.a. med tillverkare av frekvensomriktarna samt personal på Ångströmlaboratoriet, utan framgång. För att inte förlora tid i projektet valdes därför en uppskattande metod. Genom att logga drifttiden för varje enhetsoperation samt att inventera dess märkeffekt kunde en rimligt bra uppskattning göras. Uppskattningen kommer att motsvara den högsta möjliga elförbrukningen, ett ”worst case scenario”.

Ur *Tabell 1, Tabell 2 och Tabell 4* framgår vilka enhetsoperationer som är storförbrukare av el. De största förbrukarna är:

1. Flöde 3.7 – dispergeringen, 16 %. Storförbrukare av el, störst vid sidan av kylmaskinerna. Detta beror på att allt material passerar dispergeringen, vilket ger den en lång drifttid. Dispergeringen har dessutom den högsta märkeffekten.
2. Flöde 13.1.5 – omrörning till rötkammare 2, 11 %. Omrörningen sker i princip kontinuerligt, vilket ger lång drifttid. Trots det är siffran hög. Omrörningen står normalt för cirka en till tre procent av energiproduktionen⁴⁷. Vidare kan ett rimligt antagande gällande omrörningen till rötkammare 1, som alltså stod still under projektet, vara att den förbrukar ungefär lika mycket el. Tillsammans skulle de alltså stå för en stor del av den totala elförbrukningen.
3. Flöde 9.1, 9.2, 9.3 – omrörningen till bufferttankarna står tillsammans för 15 %. Detta beror troligtvis på den långa drifttiden.
4. Flöde 13.1.2 – cirkulationspump 2, 6,8 %. Cirkulationspump för varmhållning av rötkammaren. Motsvarande pump finns för rötkammare 1 och ett rimligt antagande är att den skulle förbruka ungefär lika mycket el, vilket gör att de tillsammans drar en stor del av den totala elektriciteten.

⁴⁷ Christersson, Kjell et al. (2009)

5. Flöde 19.2, 19.3 – gaskompressorer, 7,3 %. Kompressorerna trycksätter biogasen för distribution vilket gör att all biogas måste passera dessa.
6. Flöde 14.1 – omrörning i rötresttank, 3,8 %. Lång drifttid.
7. Flöde 3.1, 3.2 – omrörning i pulprar, 7,1 %. Lång drifttid.
8. Flöde 1.2 – påsöppnare, 3,5 %. Ingår i hushållsblocket. Anledningen till att förbrukningen är relativt hög beror troligtvis på, förutom hög markeffekt, att 82,5 % av det mottagna substratet tas emot via hushållsmottagningen. Detta innebär att påsöppnaren får en lång drifttid.

Av ovanstående förbrukare återkommer omrörningen på flera punkter. Tillsammans står omrörningen totalt för 36,9 % av den totala elförbrukningen. Här är inte omrörningen för den stillastående röt-kammaren med. De 12 ovanstående förbrukarna står tillsammans för 70,5 % av anläggningens totala elförbrukning. En del av flödena, exempelvis 1.4, har visserligen högre procentuell förbrukning än några av ovanstående åtta punkter men består av så många enhetsoperationer, i det här fallet av åtta matarskruvar, att de utelämnas från listan över ”storförbrukare”.

Under rubriken ”Diskussionsunderlag” angavs den verkliga elförbrukningen, dvs. den siffra som är hämtat från anläggningens elmätare. Under mätperioden användes, beräknat från medelanvändningen under oktober och november, 139 010 kWh el. Totalt använd elektricitet utgående från uppskattningarna gjorda i detta projekt var 177 102 kWh. Detta var en mycket större skillnad än förväntat. Skillnaden beror på att i verkligheten används inte markeffekten för respektive enhetsoperation utan en, genom frekvensstyrning, anpassad effekt för varje last.

Med vetskapen om att den totala uppskattade elenergianvändningen är väsentligt högre än den verkliga, måste resultaten gällande elåtgången per vikt i *Tabell 1 och Tabell 2* betraktas med viss försiktighet. Förhållandet mellan förbrukarna borde dock stämma, dvs. att enhetsoperationerna med högre elektricitetsanvändning per vikt än andra i tabellen, även har det i verkligheten. *Hur* mycket högre är däremot svårt att kvantifiera utifrån den valda metoden. Ett försök till att ändå kvantifiera den ”verkliga” elåtgången per vikt utifrån den procentuella fördelningen görs här. Detta bör inte ses som ett resultat utifrån den valda metoden, utan som en diskussion kring det erhållna resultatet. I *Tabell 3* syns en klar skillnad i energiåtgång per vikt. Om detta ger en bättre uppskattning av den verkliga förbrukningen per vikt är svårt att säga. Dock kan konstateras att den nya förbrukningen per vikt är betydligt mindre, vilket i alla fall inte motsäger att det är närmare den verkliga förbrukningen, som faktiskt är lägre.

Elförbrukningen på anläggningen är svår att optimera, dels beroende på att elmotorer och elförbrukare överlag har en hög verkningsgrad och dels för att i princip alla elförbrukare på anläggningen redan är frekvensstyrda. Det som dock kan undersökas närmare är anläggningens driftschema. Med driftschema menas sekvensen som de olika processerna startas. På detta sätt kan onödig tomgångsdrift upptäckas och åtgärdas. Därigenom sparas energi utan att försämra eller påverka driften.

I examensarbetet undersöktes inte elanvändning för belysning, datorer etc. Denna förbrukning skulle hamna i en kategori för övrig elanvändning och bestå av skillnaden mellan den totala verkliga elförbrukningen och den framtagna elförbrukningen. I och med att en uppskattande metod nödgades väljas överskred den framtagna elförbrukningen den verkliga. Detta leder till att kategorin övrig elanvändning får utelämnas då det är omöjligt att säga något om den.

Resultaten kring kylmaskinerna är högst osäkra. I och med att drifttiden för dessa på enhetsoperationer inte loggades blev osäkerheten allt för stor, vilket gjorde att en extraberäkning fick göras. Om tid funnits, hade det varit önskvärt att göra en separat mätning på kylmaskinerna för att få bättre värden.

11.3 Ånga

För att erhålla så exakta beräkningar som möjligt bör ångflödet, temperaturen och trycket mätas. Sådana mätningar kräver speciella mätinstrument som oftast är dyra att köpa in. Av detta skäl valdes istället att mäta inflödet till matarvattentanken. Detta beslut medförde två konsekvenser. För det första kunde nu endast teoretiska beräkningar över ångflödet göras. Under antagandet att inget läckage förekom och att allt vatten in till matarvattentanken var det som sedan omvandlades till ånga för hygieniseringsprocessen, kunde en beräkning av ångflödet göras. Pannans arbetstryck var 7 bar och med hjälp av tabeller kunde förångningstemperaturen tas fram. Här uppstår första felkällan. När den teoretiska beräkningen görs antas att all ånga ha exakt erforderad temperatur, något som med all sannolikhet inte stämmer. Troligtvis kan temperaturen vara något högre än så, men denna temperaturhöjning tas ej med i beräkningen. Visserligen borde inte felkällan bidra med någon stor skillnad eftersom den största energin krävs vid fasövergången. Den andra beräkningsproblematiken som uppstod var vilken vattentemperatur som skulle anses vara in till pannan. Från matarvattentanken in till pannan höll vattnet en temperatur på ca 65°C vilket innebar att pannan skulle värma upp vattnet först från 65°C till ca 164°C och sedan fasbytet 164°C_(aq) till 164°C_(ånga)⁴⁸. Problematiken ligger i att det är returvatten, som pannan en gång värmt upp, som i sin tur värmer upp vattnet i matarvattentanken. Temperaturen in till matarvattentanken är ca 10°C och således måste pannan, någon gång, även värma upp vattnet från 10°C till 65°C. I beräkningarna valdes dock det första alternativet, att pannan matas med 65°C vatten. Energiåtgången för temperaturhöjningen från 10°C till 65°C hamnar med detta resonemang under ”övrig värme”. Här borde utredas om spillvärme, exempelvis från rötresttanken, kan stå för delar av denna temperaturhöjning.

Medeltemperaturen in till pannan om ca 65°C är ett aritmetiskt medelvärde. Även temperaturer då vatten ej pumpats in till pannan är med i medelvärdesbildningen. Detta bidrar givetvis till en felkälla, men bedöms inte påverka uträkningarna i någon större utsträckning. För det första är det relativt varmt inne i pannrummet, vilket gör att eventuell avsvälning av röret mellan inpumpningarna blir mindre. Temperaturgivaren är dessutom isolerad. För det andra så påverkar en eller någon grad av vattnets temperatur in inte resultatet nämnvärt då den allra största delen av energin krävs i övergången mellan flytande vatten till vattenånga.

Vad gäller förhållandet mellan tillförd energi till pannan och energin som krävs för hygieniseringsprocessen syns ur *Tabell 4* att hygieniseringen står för ca 62% av den totala tillförda energin. Detta har beräknats med en pannverkningsgrad på 60%, enligt tillverkaren. Att så stor del av den tillförda energin går till hygieniseringen känns rimligt. Det krävs stor mängd energi att producera ånga, men i det ligger inte hela sanningen eftersom ånga även används vid växlingen till varmvatten till exempelvis varmhållning av rötkamrarna. Efter hygieniseringen pumpas materialet, via värmeväxlare, direkt till rötkamrarna. Det organiska materialet håller då en temperatur av ca 50°C, vilket är nära önskad rötningstemperatur. Detta innebär att hygieniseringsprocessen belastas för hela temperaturhöjningen från inkommande material, ca 40°C, till ca 72°C medan rötkamrarna endast belastas med små temperaturhöjningar kring 50-52°C. För att omfördela belastningen kan hygieniseringen sägas

⁴⁸ Alvarez, Henrik (2006)

vara ansvarig för temperaturhöjningen mellan 50-72°C. Så som beräkningarna har utförts i detta projekt belastas hygieniseringen för hela uppvärmningsbehovet vilket leder till att en mycket stor del av den totala energin ser ut att krävas just i hygieniseringssteget. Vad som ska belastas för vad beror på hur frågställningen utformats, men det är viktigt att känna till vad som har beräknats. I detta fall har erforderad energi för hygieniseringsprocessen beräknats, vilket alltså ”minskar” energiåtgången i rötkammaren.

11.4 Värme

I avsnittet värme ingick uppvärmning av rötkammaren, värmeväxlingar samt kategorin övrig värme. I övrig värme ingår värma till radiatorer för att varmhålla kontorslokaler, värme till anläggningslokaler samt värme för att värma upp matarvattentanken.

Vid beräkningarna som utfördes med erhållna data från temperaturloggarna fick en sortering av data utföras. Vid de första beräkningarna användes medelvärden över hela mätperioden. Resultaten för dessa beräkningar låg långt ifrån förväntat värde. Förklaringen låg i att ett stort antal temperaturer loggats då exempelvis ingen värmeväxling skett. Detta innebar att medeltemperaturen påverkades starkt. För att kringgå detta problem matchades mätvärden och endast temperaturer då flöde fanns ingick i bildningen av medelvärdet. Denna metod gick dock inte att använda för beräkning av värmebehovet till rötkammarens värmeväxlare. Här fanns inget registrerat flöde att matcha temperaturen med. Drifftiden hos cirkulationspumpen erhöles via ett annat filsystem vilket gjorde att matchning av flöde och temperatur blev så tidskrävande att det uteslöts. En genomgång av alla erhållna temperaturer visade att medelvärdesbildningen stämde bra överens med verklig växlingstemperatur. Detta beror dels på att temperaturskillnaden var liten, det varierar bara någon grad, och dels för att temperaturen inte hinner falla speciellt mycket mellan värmeväxlingarna.

Av beräkningarna av energiåtgången för att varmhålla rötkammaren framgår att det krävs ca 41 kWh per ton substrat eller ca 20 % av den totala energiåtgången. Denna siffra kan variera något beroende på hur beräkningarna ser ut. Som nuvarande beräkningar är utformade inkluderas endast temperaturjusteringar på några få grader, energin som erhålls från värmeväxlingen ses som gratisenergi. Hänsyn måste även tas till att endast en av de två befintliga rötkamrarna är med. Hur energiåtgången för att varmhålla båda rötkamrarna ser ut är svårt att säga. Mer energi kommer att användas men mer substrat kommer även att omhändertas. Viss procentuell skillnad är det säkerligen, men är något som är svårt att förutse utan mätvärden som analysunderlag. Exempelvis kan isoleringen av rötkamrarna skilja sig åt, vilket givetvis påverkar energianvändningen.

Vid värmeväxlingsberäkningarna gjordes ingen skillnad på elektrisk- eller värmeenergi. Således ansågs tillförd energi till värmeväxlingen dels komma från varm vätska och dels från de elektriskt drivna pumparna för cirkulationskretsen. I egentlig mening har dessa energibärare, el och värme, olika exergivärden, vilket gör en direkt addition av de båda något missvisande. Detta är något som inte tas hänsyn till eller behandlas vidare i projektet, men läsaren bör ändå uppmärksammas i frågan. Cirkulationspumparna för vattenkretsen antas gå när växling sker. Även växling av substraten antas matchas optimalt, dvs. allt varmt material växlas mot allt kallt. Detta är inte helt sant, men eftersträvas så långt som möjligt.

Värmeåtervinning genom värmeväxling av rötrest, dvs. utrötat material som pumpas ut ur rötkammaren och håller ca 50-55°C, sker i dagsläget bara till viss del. Värmeväxlaren består av en mängd tuber som är sammankopplade. I och med denna konstruktion kan ett valfritt antal tuber användas vid värmeväxling. I dagsläget är alla utom en tub urkopplade p.g.a.

problem med igenslamning av rören. Detta i sin tur leder till att temperatursänkningen, och därigenom energiåtervinningen, inte blir speciellt stor. Att η_{vwx2} är ca 57 % beror på att denna siffra representerar hur mycket av den avgivna energin från den varma sidan som kan tas upp, dvs. värmeväxlarens effektivitet eller verkningsgrad. Denna siffra har egentligen inte så mycket att göra med hur mycket av det *totala* energiflödet som återvinns. För att ta reda på detta togs $\dot{A}_{ter_{vwx2}}$ fram. Resultatet blev att ca 6 % av energiflödet från röt-kammaren tas till vara. Med endast en inkopplad växlartub är det föga förvånande. Detta är också en stor anledning till den stora mängd spillvärme som försvinner med rötresten, 107 kWh/ton eller ca 52% av den totala tillförda energin.

Efter hygieniseringen värmeväxlas det ca 70°C varma substratet mot inkommande material till en ny hygieniseringsprocess. I denna värmeväxlarenhet används alla tuber, till skillnad från ovanstående. Detta ger den en återvinningsgrad på nästan 48 %. Denna återvinningsgrad ska ses som en systemåtervinningsgrad i den meningen att uträkningen inte är gjord på själva värmeväxlaren utan på energiflöden in och ut från hygieniseringen.

I den övriga energin, som är ca 38 kWh/ton eller ca 18 % av det tillförda bränslet, ingår uppvärmning av lokaler, både i anläggningen via luftvärmepumpar och till kontors- och personalutrymmen via radiatorer. Även uppvärmning av matarvattnet ingår i denna post. Fördelningen inom kategorin är utifrån metodvalet svår att reda ut och heller inte speciellt intressant eftersom denna energi inte rör själva framställningsprocessen.

11.5 Specifik värmekapacitet

Som tidigare nämndes ska detta experiment ses som ett orienterande experiment. Detta av flera anledningar. För det första ingick detta moment inte i det ursprungliga projektet vilket gjorde att tiden som avsattes för experimentet var begränsat. För det andra, och som en direkt följd av tidsbristen, kan inte längre mätserier göras, vilket är nödvändigt för att få representativa mätningar. Dessutom användes en något för knapphändig utrustning för att noggrannheten ska bli tillfredsställande.

Den specifika värmekapaciteten för rötningssubstratet bedömdes skilja sig från vattnets, vilket också visade sig genom experimentet. Dock skiljde det sig inte så mycket som förväntat. Att skillnaden inte blev så stor kan bero på flera saker. Dels kan brister i experimentuppställning vara orsaken och dels kan den låga torrsubstanshalten vara förklaringen. Vid experimentstillfällena togs prover för analys av torrsubstans (TS) samt glödförlust (VS). Dessa visade enligt *Tabell 5* att den högst förekommande TS-halten var ca 11 %, dvs. som minst 89 % vatten. Detta kan förklara att den specifika värmekapaciteten för substratet låg relativt nära vattnets värde.

Experimentet utfördes på tre olika punkter i anläggningen, före och efter hygieniseringen samt vid utgående rötrest. Endast två av dessa, före hygienisering och utgående rötrest, användes i beräkningarna. För varje provpunkt utfördes två provtagningstillfällen om två försök per gång. Detta för att öka representativiteten något hos försöken. Här är viktigt att påpeka att det inte ska dras några generella slutsatser angående rötningssubstratets specifika värmekapacitet. För att det ska vara möjligt krävs mycket längre och säkrare mätserier. Det är anledningen till att inga egentliga slutsatser dras kring de utförda experimenten. Experimenten är endast till för att med relativt liten arbetsinsats höja noggrannheten i beräkningen. Alternativet var att anta samma specifik värmekapacitet för substratet som för vatten.

12 Slutsatser

Samtliga slutsatser gäller för uppmätta värden i denna rapport. Värdena återfinns även under resultatrubriken.

- De 12 största elförbrukarna stod för ca 70 % av den totala elförbrukningen motsvarande 106 kWh/ton.
- Omrörningen av samtliga cisterner och tankar stod för nästan 37 % av den totala elförbrukningen motsvarande 56,2 kWh/ton.
- Hygieniseringsprocessen stod för 62 % av det totala värmebehovet motsvarande 129 kWh/ton.
- Rötkammaren som var i drift stod för nästan 20 % av totala värmebehovet motsvarande 40,8 kWh/ton.
- Övrig verksamhet stod för ca 18 % av värmebehovet motsvarande 37,7 kWh/ton.
- Spillvärmen ut med rötresten var 52 % av den tillförda värmeenergin motsvarande 107 kWh/ton.
- Endast 6 % av energin i rötresten ut från rötkammaren togs omhand i värmeväxlingen.
- Kylmaskinernas energiförbrukning ska betraktas med försiktighet, dessa skulle ha behövt en separat mätning.
- Metoden att använda märkeffekten gav en överskattning på 27,4 %.
- Pannan har låg årsverkningsgrad, endast 60 %.

13 Förslag till vidare studier

- Kylmaskinerna bör utredas vidare.
- Utreda om omrörningen sker optimalt. Denna post kommer även att öka när även den andra rötkammaren tas i drift.
- Undersök möjligheten till att ta till vara på spillvärmen i rötresten. Exempelvis kan förvärmning av matarvattnet in till pannan vara en lämplig åtgärd.
- Utreda om värmeväxlingen av rötresten kan ske effektivare eller helt ersätta växlarenheten.
- Utreda alternativa uppvärmningsmöjligheter för ångproduktion.
- Undersöka alternativa hygieniseringsmetoder.
- Noggrannare mätning av elförbrukningen för de största elförbrukarna.

13 Referenser

13.1 Skriftliga källor

Naturvårdsverket (2002) Nollmätning för Klimatkampanjen, *Allmänhetens kunskaper och attityder till växthuseffekten*, ARS Research AB.

Tillgänglig (2010-10-03):

http://www.naturvardsverket.se/upload/05_klimat_i_forandring/minska_utslappen/kommunikation/rapport_allmanheten_och_vaxthuseffekten_2002.pdf

Naturvårdsverket (2009) Allmänheten och klimatförändringen 2009, *Allmänhetens kunskap om och attityd till klimatförändringen, med fokus på egna åtgärder, konsumtionsbeteenden och företagans ansvar*, Rapport nr 6311,

Tillgänglig (2010-10-03):

<http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-6311-5.pdf>

Förordning om deponering av avfall (2001), SFS 2001:512, Miljödepartementet, Stockholm.

Tillgänglig (2010-09-27):

<http://62.95.69.3/sfsdoc/01/010512.pdf>

Energimyndigheten, Svenska Gasföreningen och SBGF (2010), *Produktion och användning av biogas år 2008*, ES2010:01

Tillgänglig (2010-10-21):

http://www.energigas.se/sv-SE/Publikationer/~media/Files/www_energigas_se/Publikationer/Rapporter/produktionBiogas2008.ashx

Energimyndigheten (2010a), *Årliga energibalanser 2007-2008*, korrigerad version 2010-04-20, Utförd av SCB på uppdrag av Energimyndigheten. Artikelnummer: EN20SM0904

Tillgänglig (2010-09-13):

http://www.scb.se/statistik/EN/EN0202/2007I08/EN0202_2007I08_SM_EN20SM0904.pdf

Thyselius, Lennart (1982), Jordbrukstekniska institutet, Meddelande nr 391, *Biogas från gödsel och avfall*

Tillgänglig (2010-09-29):

<http://www.jti.se/uploads/jti/Meddelande-391.pdf>

SGC och Avfall Sverige (2009), Rapport U2009:03 reviderad okt. 2009, *Mikrobiologisk handbok för biogasanläggningar*

Tillgänglig (2010-09-20):

<http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/Utveckling/U2009-03.pdf>

Nordberg, Ulf, Nordberg Åke (2007), JTI-Rapport Lantbruk & Lantbruk 357, *Torrötning – kunskaps sammanställning och bedömning av utvecklingsbehov*

Tillgänglig (2010-10-01):

<http://www.jti.se/uploads/jti/R-357UN.pdf>

Hellström, Daniel, Jonsson, Lena och Vallin, Lina (2009), Stockholm Vatten, Rapport nr 1, *Uppföljning av biogasproduktion vid Henrikdals reningsverk 2000-2005*

Tillgänglig (2010-09-14):

<http://www.stockholmvatten.se/commondata/rapporter/avlopp/Biogas/Real%20life%20case%20in%20existing%20plant%2020090527f.pdf>

Avfall Sverige (2010), Rapport U2010:06, *Rötning med inledande biologiskt hydrolyssteg för utökad metanutvinning på avloppsreningsverk och biogasanläggningar*. Förstudie.

Tillgänglig (2010-09-29):

<http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/Utveckling/U2010-06.pdf>

Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1774/2002 av den 3 oktober 2002 om hälsobestämmelser för animaliska biprodukter som inte är avsedda att användas som livsmedel

Tillgänglig (2010-10-14) :

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002R1774:SV:NOT>

ProAgria Svenska lantbrukssällskapets förbund (2007), *Produktion av biogas på gården*

Tillgänglig(2010-11-13):

<http://www.biogasmitt.se/res/PDF/Produktion-av-biogas-paa-gaarden.pdf>

Inger, Malin, Norin, Erik och Mathisen Berit (1997), JTI-Rapport Kretslopp & Avfall nr10, *Hygienisering av biologiskt avfall*

Tillgänglig (2010-11-02):

http://www.jti.se/uploads/jti/JTI_RapportRKA10.pdf

Avfall Sverige (2007), Rapport B2007:01, *Alternativa hygieniseringsmetoder*,

Tillgänglig (2010-10-12):

http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/Biologisk/B2007_01.pdf

Jordbruksverket (2008), Rapport 2008:8, *Utformning av stöd till biogas inom landsbygdsprogrammet*

Tillgänglig (2010-12-03):

http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra08_8.pdf

Dustan. Andrew (2002), JTI-Rapport Lantbruk & Industri nr 299, *Review of methane and nitrous oxide emission factors for manure management in cold climates*

Tillgänglig (2010-11-11):

<http://www.jti.se/uploads/jti/r299ad.pdf>

Christersson, Kjell, Björnsson, Lovisa, Dahlgren, Stefan, Eriksson, Peter, Lantz, Mikael, Lindström, Johanna, Mickelåker, Maria och Andersson, Håkan (2009). Svenskt Gastekniskt Center, Rapport SGC 206, *Gårdsbiogashandbok*

Tillgänglig (2010-11-13)

<http://www.sgc.se/Dokument/SGC206.pdf>

Madigan, M.T, Matinko, J.M, Dunlap, P.V och Clark D.P (2009), *Biology of microorganisms*, 12th ed, San Francisco: Pearson International Edition.

Edström, Mats och Nordberg, Åke (2004), JTI informerar nr 107, *Producera biogas på gården – gödsel, avfall och energigrödor blir värme och el*

Tillgänglig (2010-10-28):

<http://www.jti.se/uploads/jti/JTIinfo107.pdf>

Baky, Andras, Nordberg, Åke, Palm, Ola, Rodhe, Lena och Salomon, Eva (2006), JTI informerar nr 115, *Rötrest från biogasanläggningar – användning i lantbruket*
Tillgänglig (2010-12-07)
<http://www.jti.se/uploads/jti/JTIinfo115.pdf>

Miljösamverkan Västra Götaland (2010), Energikartläggning och energiplan, *Information och mallar för verksamhetsutövare*
Tillgänglig (2010-10-29):
http://www.miljosamverkan.se/upload/Regionkanslierna/Milj%C3%B6samverkan/Energi/Underlag_energikartl%C3%A4ggning_energiplan_maj2010.pdf

MÖTA (2009), Miljösamverkan Östergötland, *Arbetsbeskrivning och mall för energikartläggning och energiplan*
Tillgänglig (2010-10-29):
<http://www.lansstyrelsen.se/NR/rdonlyres/64730146-070C-482D-80FE-C0AFD110E408/0/Arbetsbeskrivningverksamhetsutovare.pdf>

Norrbom, Hans Lennart (2008), Energikartläggning verksamhet, *Mall för energikartläggning av en verksamhet*
2008-07-01

Mossberg, Elin (2007), *Energikartläggning av Duvbackens reningsverk*, Examensarbete KTH

Magnusson, Ann-Sofie (2006), *Energieffektivisering på Käppalaverket*, Examensarbete KTH

Nenet (2009), *Vad är en energikartläggning och hur går den till?*
Tillgänglig (2010-11-04):
http://www.nenet.se/siteDocuments/IESN_Nenets_pdf_om_energikartlaggning_av_foretag.pdf

Energimyndigheten (2004a), *Handbok för energikartläggning och analys av energianvändning – Tips och råd från Energimyndigheten*
Tillgänglig (2010-08-12):
<http://energimyndigheten.se/Global/F%c3%b6retag/kart.pdf>

Energimyndigheten (2004b), *Handbok för energiledningssystem – Tips och goda råd från Energimyndigheten*
Tillgänglig (2010-08-12):
<http://energimyndigheten.se/Global/F%c3%b6retag/Energimyndighetens%20handbok%20f%c3%b6r%20energiledningssystem.pdf>

Lindkvist, Anders, SGC (1997), Rapport SGC 082, *Kylning och klimatisering av byggnader och lokaler med hjälp av naturgas*
Tillgänglig (2011-01-18):
www.sgc.se/dokument/SGC082.pdf

Berglund, Maria och Börjesson, Pål (2003), Rapport nr 44, *Energianalys av biogassystem*, Lunds Tekniska Högskola

Nordling, Carl och Österman, Jonny (2006), *Physics Handbook for Science and Engineering*, 8th ed, Lund: Studentlitteratur

Alvarez, Henrik (2006), *Energiteknik*, tredje upplagan, Lund: Studentlitteratur

13.2 Internetreferenser

Energimyndigheten (2010b), Hemsida, www.energimyndigheten.se

Tillgänglig:

<http://www.energimyndigheten.se/sv/Foretag/Energieffektivisering-i-foretag/PFE/>

Först publicerad: 2007-12-21, ändrad senast: 2010-08-12.

Använd: 2010-11-08.

Swedac (2010), Hemsida, www.swedac.se

Tillgänglig:

<http://www.swedac.se/sv/Omraden/Certifiering/Ledningssystem/Ledningssystem-for-energi/>

Senast uppdaterad: 2010-06-09 15:41

Använd: 2010-11-08

Boverket (2010), Hemsida, www.boverket.se

Tillgänglig:

<http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Energideklaration/>

Granskad senast: 2010-09-07

Använd 2010-11-08

Läckeby Water Group (2010), Hemsida, www.lackebywater.se

Tillgänglig:

http://www.lackebywater.se/inc/pdf/sv_prod_varmevaxlare_slam_slam.pdf

Använd: 2010-10-19

Preem (2010), Hemsida, www.preem.se

Tillgänglig:

<http://ipreem.preem.se/sm/prod3NySite.nsf/vProductsByLinkID/569?OpenDocument>

Använd: 2010-12-13

13.3 Figurkällor

Figur 1:

Baky, Andras, Nordberg, Åke, Palm, Ola, Rodhe, Lena och Salomon, Eva (2006), JTI informerar nr 115, *Rötrest från biogasanläggningar – användning i lantbruket*

Tillgänglig (2010-12-07)

<http://www.jti.se/uploads/jti/JTIinfo115.pdf>

14 Bilagor

14.1 Billaga 1 – Effektinventering

Block	Enhetsoperation	Effekt [kW]	Block	Enhetsoperation	Effekt [kW]
HH-mottagnig	C-320	15		SBP-001	15
	C-321	15		SUOR-501	7,5
	C-322	7,5		SUOR-502	7,5
	C-323	22	Pumpar	SUPU-501	37
	C-324	22		SUPU-505	30
	C-325	7,5	Hygienisering	SBP-002	4
	C-326	7,5		SBP-003	4
	C-328	7,5		SUPU-503	7,5
	C-329	4		SUPU-504	7,5
Påsöppnare		132		SUPU-201	7,5
Sikt		11		SUPU-202	7,5
Tippficka	C-310	11		SUPU-203	7,5
	C-311	11		P-313	3
	C-312	11		P-313A	3
	C-313	11		P-314	3
	C-314	15		P-314A	3
	C-315	15		HYOR-02	1,5
	C-316	15		HYOR-03	1,5
	C-317	15		O-303	1,5
	C-318	7,5		SUTP-201	5,5
Pulprar	T-305	55		SUSA-200	2,2
	T-306	55	In och ut RK	SUPU-204	7,5
	O-301	3		RRP-009	4
	O-302	3		RRPU-302	7,5
	SUTP-205	5,5	Rötkammare	P-311	11
	C-500	4		RIPU-301	15
	T-500	250		VCP-301	5,5
	P-500	0,75		RKOR-04	9,2
	P-302	37		RIOR-401	18,5
	SUPU-102	37	Rötrest	RROR-05	6,8
Högtrycksluft	K-301	18		RRP-010	9,2
Lågtrycksluft	K-300	30	Panna	VCP-15	1,5
Spolvatten	P-303	7,5	Kylmaskin	gamla	28
Spädvatten	P-301	11	Leverans	KM-001	40
Silgaller och rejektpress	T-340	0,75		P-312	3
	SUPU-101	22		P-312A	3
	C-340	5,5		GK-401	12,8
	SUTP-203	5,5		GK-402	12,8
	SUPR-201	7,5	Gasomrörning	GKP-001	18,5
Bufferttankar	BTOR-01	11	Gasklocka	FL-01	1,1

14.2 Bilaga 2 – Teori kring specifik värmekapacitet

14.2.1 Teori

Experimentet bygger i grunden på termodynamikens första huvudsats om energins bevarande. Den kan uttryckas enligt följande:

$$Q = \Delta U + \Delta W \quad (1)$$

där,

Q = värmetillförsel [J]

ΔU = förändring av inre energi [J]

ΔW = energiutbyte med omgivningen [J]

Det ekvationen säger är att en energiförändring i ett system medför en energiförändring hos den inre energin och/eller ett energiutbyte med omgivningen så att energin på ett eller annat sätt är bevarad.

Värmeförsel till ett system kan skrivas som:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

där,

ΔQ = tillförd energi [J]

m = massa [kg]

c = specifik värmekapacitet [J/(kg·K)]

ΔT = temperaturförändring [K]

I detta experiment antas den låda som utgör systemgränsen vara idealt isolerad. Med det menas att inget energiutbyte sker, varken mellan medierna och lådan eller med omgivningen. I och med detta, något förenklade antagande, blir $\Delta W = 0$ eftersom inget energiutbyte antas ske. Således ger ekvation (1) och (2) följande uttryck:

$$\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3)$$

När vätskorna med olika temperatur blandas kommer deras inre energier ändras. Eftersom inget energiutbyte sker med omgivningen kommer förändringen av energin endast ske mellan de två vätskorna. Utifrån detta fås följande uttryck:

$$\Delta U_1 = \Delta U_2 \quad (4)$$

som med insättning av ekvation (3) blir

$$m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta T_1 = m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta T_2 \quad (5)$$

I experimentet kommer vatten och rötningssubstrat användas, vilket ger formeln med följande denotationer:

$$m_{\text{vatten}} \cdot c_{\text{vatten}} \cdot \Delta T_{\text{vatten}} = m_{\text{sub}} \cdot c_{\text{sub}} \cdot \Delta T_{\text{sub}} \quad (7)$$

Kända eller mätbara storheter är alltså c_{vatten} , m_{vatten} , ΔT_{vatten} , m_{sub} och ΔT_{sub} . Kvar är bara att lösa ut den okända specifika värmekapaciteten c_{sub} :

$$c_{\text{sub}} = m_{\text{vatten}} \cdot c_{\text{vatten}} \cdot \Delta T_{\text{vatten}} / m_{\text{sub}} \cdot \Delta T_{\text{sub}} \quad (8)$$

14.2.2 Referensprov med vatten:

Försök 1:

$$m_1 = 2.002 \text{ kg}$$

$$c_1 = 4.19 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$\Delta T_1 = 15.2 \text{ K}$$

$$m_2 = 1.765 \text{ kg}$$

$$\Delta T_2 = 17.2 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_2 = 4.2 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

Försök 2:

$$m_1 = 1.924 \text{ kg}$$

$$c_1 = 4.19 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$\Delta T_1 = 15.4 \text{ K}$$

$$m_2 = 1.751 \text{ kg}$$

$$\Delta T_2 = 16.7 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_2 = 4.25 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

14.2.3 Före hygieniseringen

Första provrundan, försök 1:

$$m_{\text{vatten}} = 2.301 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 5.2 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.235 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 5.8 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.87 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

Första provrundan, försök 2:

$$m_{\text{vatten}} = 2.103 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 5.4 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.422 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 5.1 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.85 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Andra provrundan, försök 1:

$$m_{\text{vatten}} = 2.241 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 5.6 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.263 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 6.6 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.52 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Andra provrundan, försök 2:

$$m_{\text{vatten}} = 2.148 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 5.6 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.320 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 5.9 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.68 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

14.2.4 Efter Hygienisering

Första provrundan, försök 1:

$$m_{\text{vatten}} = 2.256 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 17.9 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.041 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 22.5 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.68 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Första provrundan, försök 2:

$$m_{\text{vatten}} = 2.227 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 18.7 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.259 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 21.5 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.59 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Andra provrundan, försök 1:

$$m_{\text{vatten}} = 2.310 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 23.5 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.109 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 28.9 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.73 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Andra provrundan, försök 2:

$$m_{\text{vatten}} = 2.351 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 23.6 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.240 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 28.1 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.69 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

14.2.5 Efter rötkammaren

Första provrundan, försök 1:

$$m_{\text{vatten}} = 2.175 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 14.7 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.132 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 16.8 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.74 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Första provrundan, försök 2:

$$m_{\text{vatten}} = 2.265 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 16.7 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.113 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 19 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.95 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Andra provrundan, försök 1:

$$m_{\text{vatten}} = 2.200 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 18.7 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.271 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 19.4 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 3.91 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

Andra provrundan, försök 2:

$$m_{\text{vatten}} = 2.261 \text{ kg}$$

$$c_{\text{vatten}} = 4.19 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\Delta T_{\text{vatten}} = 17.9 \text{ K}$$

$$m_{\text{sub}} = 2.301 \text{ kg}$$

$$\Delta T_{\text{sub}} = 18.1 \text{ K}$$

Ger med ekvation (7)

$$c_{\text{sub}} = 4.07 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

14.2.6 Ts-Vs-Prov

Före hygieniseringen, ref 1, första provrundan

TS: 7.54%

Glödningsförlust: 87.2%

Före hygieniseringen, ref 2, andra provrundan

TS: 11.0%

Glödningsförlust: 92%

Efter hygienisering, ref 3, första provrundan

TS: 7.43%

Glödningsförlust: 90.6 %

Efter hygienisering, ref 4, andra provrundan

TS: 9.3%

Glödningsförlust: 90.7 %

Efter rötammaren, ref 5, första provrundan

TS: 2.19%

Glödningsförlust: 68.3%

Efter rötammaren, ref 6, andra provrundan

TS: 2.38%

Glödningsförlust: 70.2%

14.3 Bilaga 3 – Beräkningskod

```
%funktion som läser in filer
clear all;
clc;

antal=12; %antal förbrukare
dag=input('Hur många dagar ska läsas in?');
if dag<=0
    disp('Du angav ett negativt dagantal eller ingen dag alls');
end
%dag=2; %antal dagar
h=24; %antal timmar
data=[];
t=[];
for k=1:dag %lopar igenom dagar
    fil=['fil', int2str(k), '.txt'];
    for i=1:h %lopar igenom h
        filn=[fil, '(', int2str(i), ')', '.txt'];
        filnamn=eval('filn');
        fid=fopen(filnamn);
        ut=textscan(fid, '%s %d %s', 'delimiter', ',');
        fclose(fid);
        c=[];
        c=ut{2}';
        t=[t;c];
    end
end
end
%Tar ut namnen på komponenterna som ska undersökas
w=ut{1}';
kollmatris=[w(:,147) w(:,148) w(:,149) w(:,150) w(:,151) w(:,152) ...
    w(:,153) w(:,154) w(:,155) w(:,138) w(:,139) w(:,140)...
    w(:,141) w(:,142) w(:,143) w(:,144) w(:,145) w(:,146) w(:,342)...
    w(:,343) w(:,234) w(:,235) w(:,338) w(:,157) w(:,345) w(:,253)...
    w(:,239) w(:,299) w(:,204) w(:,202) w(:,240) w(:,238) w(:,344)...
    w(:,298) w(:,156) w(:,337) w(:,297) w(:,137) w(:,281) w(:,295)...
    w(:,296) w(:,304) w(:,307) w(:,282) w(:,283) w(:,305) w(:,306)...
    w(:,300) w(:,301) w(:,302) w(:,247) w(:,248) w(:,249) w(:,250)...
    w(:,200) w(:,201) w(:,236) w(:,336) w(:,335) w(:,303) w(:,275)...
    w(:,278) w(:,244) w(:,263) w(:,352) w(:,267) w(:,262) w(:,269)...
    w(:,276) w(:,351) w(:,245) w(:,246) w(:,181) w(:,182) w(:,184)...
    w(:,159)];
%Tar fram matris med drifttiderna under den senaste timmen för de
%komponenter som ska undersökas

mat=diff(t);
forstah=zeros(1,353);
%Första raden (timmen) i drifttidsmatrisen sätts till noll efterom detta
värde saknas.
m=[forstah(1,:);mat]; %matris med driftstider för alla förbrukare
%skapar en matris med de aktuella förbrukarnas driftstider
slutmatris=[m(:,147) m(:,148) m(:,149) m(:,150) m(:,151) ...
    m(:,152) m(:,153) m(:,154) m(:,155) m(:,138) m(:,139) m(:,140)...
    m(:,141) m(:,142) m(:,143) m(:,144) m(:,145) m(:,146) m(:,342)...
    m(:,343) m(:,234) m(:,235) m(:,338) m(:,157) m(:,345) m(:,253)...
    m(:,239) m(:,299) m(:,204) m(:,202) m(:,240) m(:,238) m(:,344)...
    m(:,298) m(:,156) m(:,337) m(:,297) m(:,137) m(:,281) m(:,295)...
    m(:,296) m(:,304) m(:,307) m(:,282) m(:,283) m(:,305) m(:,306)...
    m(:,300) m(:,301) m(:,302) m(:,247) m(:,248) m(:,249) m(:,250)...
    m(:,200) m(:,201) m(:,236) m(:,336) m(:,335) m(:,303) m(:,275)...
    m(:,278) m(:,244) m(:,263) m(:,352) m(:,267) m(:,262) m(:,269)...
```

```

m(:,276) m(:,351) m(:,245) m(:,246) m(:,181) m(:,182) m(:,184)...
m(:,159)];

%Alla timmar med fler sekunder än 3600 justeras ned till 3600.
for p=1:length(slutmatris);
    for t=1:76;
        if slutmatris(p,t) > 3600;
            slutmatris(p,t) = 3600;
        end
    end
end
%Alla timmar med negativa värden justeras upp till 0
for p=1:length(slutmatris);
    for t=1:76;
        if slutmatris(p,t) < 0;
            slutmatris(p,t) = 0;
        end
    end
end

totaldrifttid=sum(slutmatris); %total drifttid i
sekunder under den inlästa perioden
drifth=totaldrifttid/3600; %total drifttid i
timmar under den inlästa perioden

%Hushållsmottagningen - drifttid. Påsöppnaren antas ha gått lika länge som
%skruven för, dvs C-321 (drifth(1,2)). Sikten antas ha gått lika länge som
%skruven före, dvs C-322 (drifth(1,3)).
Hush=drifth(1,1:9);
Hushall=[Hush,drifth(1,2),drifth(1,3)];

[num,txt,row]=xlsread('Effektinventering.xls');
Effekt=num(:,1); %tar ut den inventerade effekten i en vektor
text=txt;

%BERÄKNING AV UPPSKATTAD ELFÖRBRUKNING
el=[drifth,drifth(1,2),drifth(1,3);Effekt',132,11];
elkwh=prod(el);
%[kWh]elförbrukningen i kWh under den inlästa perioden
snittforbrukning=sum(elkwh)/dag;
%[kWh/dygn]snittförbrukningen av el per dag
Totalkwh45=sum(elkwh)+4*snittforbrukning;
%[kWh]Lägger till 4 "snitt dagar" för att kunna jämföra med de 45 loggade
dagarna

%BERÄKNING AV UPPSKATTAD ELFÖRBRUKNING I HUSHÅLLSMOTTAGNING
HHeffekt=[15,15,7.5,22,22,7.5,7.5,7.5,4,132,11];
%skapar en effektvektor för HH-blocket
elHH=[Hushall;HHeffekt];
energiHH=prod(elHH);
%[kWh]elförbrukningen i kWh för HH-blocket
snittforbrukningHH=sum(energiHH)/dag;
%[kWh/dygn]snittforbrukningen av el i HH-blocket per dag
TotalenergiHH45=sum(energiHH)+4*snittforbrukningHH;
%[kWh]Lägger till 4 "snitt dagar" för att kunna jämföra med de 45 loggade
dagarna

```

```

%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX VIKT XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
%FÖR VÄRMEBERÄKNINGARNA:
[num,txt,row]=xlsread('Viktstorafickan.xls'); %Läser in
viktrapporter i [ton] för stora fickan för hela perioden
Viktstorafickan=num(:,1);
[num,txt,row]=xlsread('ViktHH.xls');
%Läser in viktrapporter i [ton] för HH, dvs det som går genom
påöppnare/sikt för hela perioden
ViktHH=num(:,1);
Vikttot=sum([Viktstorafickan',ViktHH']);
%Total vikt i [ton] som tagit in till anläggning

%FÖR ELBERÄKNINGARNA:
[num,txt,row]=xlsread('ViktstorafickanEl.xls');
%Läser in viktrapporter i [ton] för stora fickan då drifttiden loggats
ViktstorafickanEl=num(:,1);
[num,txt,row]=xlsread('ViktHHEl.xls');
%Läser in viktrapporter i [ton] för HH, dvs det som går genom
påöppnare/sikt då drifttiden loggats
ViktHHEl=num(:,1);
VikttotEl=sum([ViktstorafickanEl',ViktHHEl']);
%Total vikt i [ton] då drifttid loggats genom hela anläggningen
ViktHHTotEl=sum(ViktHHEl);
%Total vikt i [ton] då drifttid loggats genom HH

%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX BERÄKNINGAR XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

%Läser in Excelfilen med mätdata
[num1,txt1,row1]=xlsread('matdata.xls');
[num2,txt2,row2]=xlsread('matdata2.xls');
[num3,txt3,row3]=xlsread('matdata3.xls');
[num4,txt4,row4]=xlsread('matdata4.xls');
[num5,txt5,row5]=xlsread('matdata5.xls');
num=[num1;num2;num3;num4;num5];
length(num);

%Räknar ut hur många gånger per minut som värdena loggas i snitt
matdagar=45;
intervallSek=60/(length(num)/(matdagar*24*60));
%räknar ut hur många sekunder snittintervallet är mellan loggningarna
intervallh=intervallSek/3600;
%räknar ut snittintervallet uttryckt per timmar

%Vattenflödet in till mavatanken [liter/s]
Flodemava=num(:,1);

%Totalt flöde in till mavatanken under den inlästa perioden i [liter]
%värdena multipliceras med "intervall" för att kompensera för att värdena
%endast visas fyra ggr per minut. Flödet antas vara det samma under detta
%intervall
FlodemavaTot=sum(Flodemava*intervallSek);

%Temperatur på vatten in till pannan i grader C
PannVattenTempIn=num(:,2);

%Temperatur på ånga ut ur pannan i grader C
Angtemp=num(:,3);

%Temperatur vvx vid hygienisering varmt till kallt i grader C
TempVVXHygVtK=num(:,4);

```

```

%Temperatur vvx vid hygienisering kallt till varmt i grader C
TempVvxHygKtV=num(:,5);

%Temperatur in till vvx vid RK2 i grader C
TempInRK2=num(:,6);
meanTempInRK2=mean(TempInRK2)+273.15;                                %[K]

%Flödet ur RK2 [m3/h]. Detta flöde kommer även användas till flödet genom
%vvx001, vvx004 samt flödet till rötresttanken
FlodeRK2=num(:,7);

%Totalt flöde ut från RK2 under den inlästa perioden i [m3]
%värdena multipliceras med "intervall" för att kompensera för att värdena
%endast visas fyra ggr per minut. Flödet antas vara det samma under detta
%intervall
FlodeRK2Tot=sum(FlodeRK2*intervallh);

%Flödet till hygienisering [m3/h].
FlodeHygIn=num(:,8);

%Totalt flöde in till hygieniseringen under den inlästa perioden i [m3]
%värdena multipliceras med "intervall" för att kompensera för att värdena
%endast visas fyra ggr per minut. Flödet antas vara det samma under detta
%intervall
FlodeHygTot=sum(FlodeHygIn*intervallh);

%Temperaturen på utgående från vvx vid RK2 i grader C
TempVvxUtRK2=num(:,9);
meanTempVvxUtRK2=mean(TempVvxUtRK2)+273.15;                        %[K]

%Temperaturen före vvx 002 i grader C
TempForeVvx002=num(:,11);
MeanTempForeVvx002=mean(TempForeVvx002)+273.15;                    %[K]

%Temperaturen efter vvx 002 i grader C
TempEfterVvx002=num(:,10);

%Temperaturen in till hygieniseringen i grader C
TempInHyg=num(:,12);

%Temperaturen efter vvx 004, dvs in till RK2, i grader C
TempEfterVvx004=num(:,13);

%Temperaturen efter vvx 001, dvs till rötresttanken, i grader C
TempEfterVvx001=num(:,14);

%Temperaturen i och ut från RK2 antas vara konstant 52 grader C
TempRK2=52;
MeanTempRK2=TempRK2+273.15;

%Temperaturen i och ut ur hygieniseringen antas vara konstant 72 grader C
TempHyg=72;
MeanTempHyg=TempHyg+273.15;

```

```

%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX ÅNGA XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
%Panntrycket är ca 7 bar.

Mtempin=mean(PannVattenTempIn);           %tas ut ifrån excelblad

entalpiin=280;                             %([kJ/kg] vid 66 grader C
VattenDens60=0.98234;                      %[kg/dm3] vid 60 grader (närmsta värdet i PH)
VattenDens100=0.95838;                    %[kg/dm3] vid 100 grader (närmsta värdet i PH)
MassaMava=VattenDens60*FlodemavaTot;      % [kg] vattten in till pannan totalt
under den inlästa perioden
entalpil64=697.1;                         %([kJ/kg] vid 164 grader c
angbildningsvarme=2066.44;                 %([kJ/kg] vid 165-170 grader c

eta=0.6;                                  %Årsverkningsgraden på pannan
Egas=6.5;                                  %[kWh/Nm3] energiinnehållet i biogas

Qin=entalpiin*MassaMava;                  %[kJ]Hur mycket energi vattet in till pannan har
Q164=entalpil64*VattenDens100*FlodemavaTot;
%[kJ]Hur mycket energi vatten vid 164 grader C har

Qtill=Q164-Qin+angbildningsvarme*VattenDens100*FlodemavaTot;
%[kJ]Hur mycket som måste tillföras totalt under inläst period för att
producera ånga till hyg
Qverk=Qtill/eta;
%[kJ]Hur mycket som måste tillföras via bränslet när verkningsgraden tas
med, totalt undet inläst period
Qverk=Qverk/3600;                         %[kWh] måste tillföras totalt undet inläst period

%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX GAS- OCH OLJEFÖRBRUKNING XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

[num,txt,row]=xlsread('Gasforbrukning.xls');
Pannforbrukning=num(:,4);                %Gasförbrukning i pannan [m3]
                                         %Total förbrukning varje
                                         %timme, serien startar den
                                         %7/10-10 12:00:00. Element 1 är
                                         %timme 1 osv.

Fackla=num(:,2);                         %Hur mycket som facklas bort [m3].
                                         %Total bortfackling under en
                                         %timme, första elementet
                                         %motsvarar timme 1 osv. Pa
                                         % [Nm3] total åtgång

PannforbrukningTot=sum(Pannforbrukning);
under inläst period
Pannforbrukningsnitt=PannforbrukningTot/matdagar; %[Nm3/dygn]
snittförbrukning per dag
OljeforbrukningTot=600;                  % [liter]
totalförbrukning under de inlästa dagarna.
EnergiinnehallOlja=10;                   % [kWh/liter] källa
preems produktblad
EnergiInOlja=OljeforbrukningTot*EnergiinnehallOlja; %[kWh] total
energitillforsel via olja under inläst period
%Hämta data på preem.se kvalité E10.

TotalEnergiAtgang=PannforbrukningTot*Egas+EnergiInOlja; %[kWh]Total
energitillforsel under den inlästa perioden

%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX ELFÖRBRUKNING XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
sept=75426;                             %[kWh] total elförbrukning i anläggningen i september
okt=88868;                               %[kWh] total elförbrukning i anläggningen i oktober
nov=99569;                               %[kWh] total elförbrukning i anläggningen i november

```

```

VerkligElForbrukningTot=sept+okt+nov;
%[kWh] total elförbrukning i anläggningen under de tre månaderna

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% VÄRMEVÄXLING %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Räknar ut snittflödet i m3/h för flödet in till hygieniseringen, när det
finns ett flöde
SummaFlodeHygIn=0;
AntalFloden=0;
for i=1:length(FlodeHygIn);
    if FlodeHygIn(i)>0;
        SummaFlodeHygIn=SummaFlodeHygIn+FlodeHygIn(i);
        AntalFloden=AntalFloden+1;
    end
end

SnittFlodeHygIn=SummaFlodeHygIn/AntalFloden;
%[m3/h]snittflödet in till hygieniseringen, när det finns ett flöde

%Räknar ut snittflödet i m3/h för flödet ut ur RK2, när det finns ett flöde
SummaFlodeRK2=0;
AntalFloden=0;
for i=1:length(FlodeRK2);
    if FlodeRK2(i)>0;
        SummaFlodeRK2=SummaFlodeRK2+FlodeRK2(i);
        AntalFloden=AntalFloden+1;
    end
end

SnittFlodeRK2=SummaFlodeRK2/AntalFloden;
%[m3/h]snittflödet ut ur RK2, när det finns ett flöde

%Tar ut temperaturer när det finns ett flöde in till hyg.
TempFlodeForeVVX2=[];
TempFlodeEfterVVX2=[];
TempFlodeHygIn=[];
for i=1:length(FlodeHygIn);
    if FlodeHygIn(i)>0
        TempFlodeForeVVX2=[TempFlodeForeVVX2;TempForeVVX002(i)];
        TempFlodeEfterVVX2=[TempFlodeEfterVVX2;TempEfterVVX002(i)];
        TempFlodeHygIn=[TempFlodeHygIn;TempInHyg(i)];
    end
end
meanTempFlodeForeVVX2=mean(TempFlodeForeVVX2)+273.15;
%[K] medeltemperatur då det går ett flöde
meanTempFlodeEfterVVX2=mean(TempFlodeEfterVVX2)+273.15;
%[K] medeltemperatur då det går ett flöde
meanTempFlodeHygIn=mean(TempFlodeHygIn)+273.15;
%[K] medeltemperatur då det går ett flöde

%Tar ut temperaturen ut till rötrestkammaren då det är ett flöde
TempFlodeRotrest=[];
for i=1:length(FlodeRK2);
    if FlodeRK2(i)>0
        TempFlodeRotrest=[TempFlodeRotrest;TempEfterVVX001(i)];
    end
end

```



```

meanTempFlodeRotrest=mean(TempFlodeRotrest)+273.15;
%[K] medeltemperatur då det går ett flöde

SpecKapInHyg=3.73;
%[kJ/(kgK)] Specifik värmekapacitet in till vvx innan hygieniseringen
SpecKapEfterHyg=3.67;
%[kJ/(kgK)] Specifik värmekapacitet efter hygieniseringen och
sandavvattaren
SpecKapUtRK2=3.92;
%[kJ/(kgK)] Specifik värmekapacitet efter RK2 OBS! Medelvärde
SpecKapVatten=4.19;
%[kJ/(kgK)] Vattnets specifika värmekapacitet
FlodeUtHyg=FlodeRK2;
DensForeHyg=1000;
%[kg/m3] Densiteten hos materialet före hygieniseringen.
DensEfterHyg=1000;
%[kg/m3] Densiteten hos materialet efter hygieniseringen.
DensEfterRK2=1000;
%[kg/m3] Densiteten hos materialet efter RK2.
DensVatten=1000; %[kg/m3] Densiteten hos vatten
FlodeKapVVXVatten=39; %[m3/h] Flodet hos pumparna i vattenkretsen vid vvx
FlodeKapVVXRK2=150; %[m3/h] Flodeskapaciteten genom vvx-pumpen vid RK2
TotaltFlodeVVXRK2=drifh(1,65)*FlodeKapVVXRK2;
%[m3] totalt flöde genom vvx-krets vid RK2 under inläst period av
drifftidsfilerna
ElForbrukningVattenkretsPump1=(elkwh(1,51)+elkwh(1,52))*3600;
%[kJ] elforbrukning under de inlästa dagarna för vvxvattenpump1 från
driftrapporterna
ElForbrukningVattenkretsPump2=(elkwh(1,53)+elkwh(1,54))*3600;
%[kJ] elforbrukning under de inlästa dagarna för vvxvattenpump1 från
driftrapporterna

%Beräknar energimängden som krävs i hygieniseringen
TempHojning=TempHyg-meanTempFlodeHygIn;
%[K] Hur mycket temperaturen måste höjas mha ånga.
HojningsEnergi=TempHojning*FlodeHygTot*DensForeHyg*SpecKapInHyg;
%[kJ] total mängd energi som krävs för temperaturhöjningen i hyg.

%Beräknar hur mycket energi som tagits tillvara sammanlagt i VVX-003
TillvaraTagenEnergiVVX003=(meanTempFlodeHygIn-meanTempFlodeEfterVVX2)*...
    FlodeHygTot*SpecKapInHyg*DensForeHyg; %[kJ]

%Systemverkningsgrad: tillvaratagen energi i VVX003 genom tillförd energi i
%hyg
Verk1=TillvaraTagenEnergiVVX003/HojningsEnergi;
%Systemverkningsgrad: tillvaratagen energi i VVX003 genom beräknad mängd av
%ava till ånga
Verk2=TillvaraTagenEnergiVVX003/(Qtill+ElForbrukningVattenkretsPump2);
%Systemverkningsgrad: tillvaratagen energi i VVX003 genom beräknad mängd
%instoppad energi i pannan inkl.pannverkningsgrad
Verk3=TillvaraTagenEnergiVVX003/(Qverk*3600);

%Beräknar verkningsgrad för VVX-002 och VVX-001 (en tub inkopplad)
VerkVVX002001=(FlodeHygTot*(meanTempFlodeEfterVVX2-
meanTempFlodeForeVVX2)*SpecKapInHyg*...
    DensForeHyg)/(FlodeRK2Tot*(MeanTempRK2-
meanTempFlodeRotrest)*SpecKapUtRK2*...
    DensEfterRK2+ElForbrukningVattenkretsPump1);

```

```

%Beräknat Återvvx2
Atervvx2=(FlodeHygTot*(meanTempFlodeEfterVVX2-
meanTempFlodeForeVVX2)*SpecKapInHyg*...
    DensForeHyg)/((FlodeRK2Tot*MeanTempRK2*SpecKapUtRK2*...
    DensEfterRK2-FlodeHygTot*meanTempFlodeForeVVX2*SpecKapInHyg*...
    DensForeHyg)+ElForbrukningVattenkretsPump1);

%Beräknar energiöverföringen i vvx vid RK2
EnergiVVXRK2=FlodeKapVVXRK2*DensVatten*SpecKapVatten*...
    (meanTempInRK2-meanTempVVXutRK2)*(drifth(1,65)+(drifth(1,65)/41)*4);
%[kJ]
EnergiVVXRK2=EnergiVVXRK2/3600;
%[kWh]

%Beräknar hur mycket värmeenergi som går förlorad till rötresttanken
EnergiForlustRotrest=FlodeRK2Tot*meanTempFlodeRotrest*SpecKapUtRK2*DensEfte
rRK2;      %[kJ]

%Hur mycket av den tillförda energin som förloras med rötresten
EnergiForlustRotrestTillford=(EnergiForlustRotrest-FlodeHygTot*...
    meanTempFlodeForeVVX2*SpecKapInHyg*DensForeHyg)/3600;
%[kWh]

%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX ENERGIFLÖDEN XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
%Totala energiflödet under hela inlästa perioden.
Flode11=elkwh(1,1);
Flode12=elkwh(1,77);          %påsrivaren
Flode13=elkwh(1,78);          %sikten
Flode14=sum(elkwh(1,2:9));
Flode1=Flode11+Flode12+Flode13+Flode14;
Flode21=sum(elkwh(1,10:13));
Flode22=sum(elkwh(1,14:18));
Flode2=Flode21+Flode22;
Flode31=elkwh(1,19);
Flode32=elkwh(1,20);
Flode33=elkwh(1,21);
Flode34=elkwh(1,22);
Flode35=elkwh(1,23);
Flode36=elkwh(1,24);
Flode37=sum(elkwh(1,25:26));
Flode38=sum(elkwh(1,27:28));
Flode3=Flode31+Flode32+Flode33+Flode34+Flode35+Flode36+Flode37+Flode38;
Flode41=elkwh(1,30);
Flode4=Flode41;
Flode51=123*18;               %antas gå 3 h/dag
Flode5=Flode51;
Flode61=elkwh(1,33);
Flode62=elkwh(1,34);
Flode63=sum(elkwh(1,35:36));
Flode64=elkwh(1,37);
Flode6=Flode61+Flode62+Flode63+Flode64;
Flode71=elkwh(1,31);
Flode7=Flode71;
Flode81=elkwh(1,32);
Flode8=Flode81;
Flode91=sum(elkwh(1,38:39));
Flode92=elkwh(1,40);
Flode93=elkwh(1,41);
Flode9=Flode91+Flode92+Flode93;
Flode101=elkwh(1,42);
Flode102=elkwh(1,43);

```

```

Flodel10=Flodel101+Flodel102;
Flodel1111=sum(elkwh(1,44:45));
Flodel1112=elkwh(1,46);
Flodel1113=elkwh(1,47);           %"smutsig" tank, pump används ej.
Flodel1114=elkwh(1,51);
Flodel1115=elkwh(1,52);           %Används inte
Flodel1116=elkwh(1,53);
Flodel1117=elkwh(1,48)+elkwh(1,55);
Flodel1118=elkwh(1,49)+elkwh(1,56);
Flodel1119=elkwh(1,50)+elkwh(1,57);
Flodel11110=sum(elkwh(1,58:59));
Flodel11111=elkwh(1,54);           %tvillingpump, används inte
Flodel111=Flodel1111+Flodel1112+Flodel1113+Flodel1114+Flodel1115+Flodel1116+...
    Flodel1117+Flodel1118+Flodel1119+Flodel11110+Flodel11111;
Flodel1121=Qverk/3;
Flodel1122=Qverk/3;
Flodel1123=Qverk/3;
Flodel112=Flodel1121+Flodel1122+Flodel1123;
Flodel121=elkwh(1,60);
Flodel122=elkwh(1,61);           %Tillhör RK1, används ej
Flodel123=elkwh(1,62);
Flodel12=Flodel121+Flodel122+Flodel123;
Flodel1311=elkwh(1,63);           %VVX-krets RK1, används ej
Flodel1312=elkwh(1,64);
Flodel1313=elkwh(1,65);
Flodel1314=elkwh(1,66);
Flodel1315=elkwh(1,67);
Flodel131=Flodel1311+Flodel1312+Flodel1313+Flodel1314+Flodel1315;
Flodel1321=0;                     %RK1, ej i drift
Flodel1322=EnergiVVXRK2/0.6;
Flodel1323=EnergiForlustRotrestTillford;
Flodel132=Flodel1321+Flodel1322;
Flodel141=elkwh(1,68);
Flodel142=elkwh(1,69);
Flodel14=Flodel141+Flodel142;
Flodel1511=sum(elkwh(1,70:72));
Flodel151=Flodel1511;
Flodel1521=TotalEnergiAtgang;
Flodel1522=Qverk;
Flodel1523=TotalEnergiAtgang-Qverk;
Flodel152=Flodel1521;
Flodel161=0;
Flodel16=Flodel161;
Flodel171=elkwh(1,76);
Flodel17=Flodel171;
Flodel181=elkwh(1,75);           %Gasomrörningen, används den inte?
Flodel18=Flodel181;
Flodel191=0;
Flodel192=elkwh(1,73);
Flodel193=elkwh(1,74);
Flodel19=Flodel191+Flodel192+Flodel193;

%skapar en matris med den totala åtgången av energi under repsektive
%inläsningsperiod. OBS elflödena är loggade 21/10-10 -> 30/11-10 medans
%värmeflödena är loggade 7/10-10 -> 30/11-10. [kWh]
EnergiFlodesMatris=[Flodel1,Flodel11,Flodel12,Flodel13,Flodel14,Flodel2,...
    Flodel21,Flodel22,Flodel3,Flodel31,Flodel32,Flodel33,Flodel34,Flodel35,...
    Flodel36,Flodel37,Flodel38,Flodel4,...
    Flodel41,Flodel5,Flodel51,Flodel6,Flodel61,Flodel62,Flodel63,Flodel64,...
    Flodel7,Flodel71,Flodel8,Flodel81,Flodel9,...
    Flodel91,Flodel92,Flodel93,Flodel10,Flodel101,Flodel102,Flodel111,Flodel112,...

```

```

Flodel1111,Flodel1112,...
Flodel1113,Flodel1114,Flodel1115,Flodel1116,Flodel1117,Flodel1118,...
Flodel1119,Flodel11110,Flodel11111,Flodel1121,Flodel1122,Flodel1123,...
Flodel12,Flodel121,Flodel122,Flodel123,Flodel131,Flodel132,Flodel1311,...
Flodel1312,Flodel1313,Flodel1314,...
Flodel1315,Flodel1321,Flodel1322,Flodel1323,Flodel14,Flodel141,Flodel142,...
Flodel151,Flodel152,Flodel1511,Flodel1521,Flodel1522,Flodel1523,Flodel16,...
Flodel161,Flodel17,Flodel171,Flodel18,Flodel181,Flodel19,Flodel191,...
Flodel192,Flodel193];

%skapar en matris med totala energiflodelt per vikt för resp.
%inläsningsperiod. Elenergin är dividerad med vikt som tagits emot under
% motsvarande period, och motsvarande för värmeenergin. [kWh/ton]. Nyckeltal
%1, 3 och 4
EnergiFlodesMatrisVikt=[Flodel1/VikttotEl,Flodel11/VikttotEl,...
    Flodel12/VikttotEl,Flodel13/VikttotEl,Flodel14/VikttotEl,...
    Flodel2/VikttotEl,Flodel21/VikttotEl,Flodel22/VikttotEl,...
    Flodel3/VikttotEl,Flodel31/VikttotEl,Flodel32/VikttotEl,...
    Flodel33/VikttotEl,Flodel34/VikttotEl,Flodel35/VikttotEl,...
    Flodel36/VikttotEl,Flodel37/VikttotEl,Flodel38/VikttotEl,...
    Flodel4/VikttotEl,Flodel41/VikttotEl,Flodel5/VikttotEl,...
    Flodel51/VikttotEl,Flodel6/VikttotEl,Flodel61/VikttotEl,...
    Flodel62/VikttotEl,Flodel63/VikttotEl,Flodel64/VikttotEl,...
    Flodel7/VikttotEl,Flodel71/VikttotEl,Flodel8/VikttotEl,...
    Flodel81/VikttotEl,Flodel9/VikttotEl,Flodel91/VikttotEl,...
    Flodel92/VikttotEl,Flodel93/VikttotEl,Flodel10/VikttotEl,...
    Flodel101/VikttotEl,Flodel102/VikttotEl,Flodel111/VikttotEl,...
    Flodel112/Vikttot,Flodel1111/VikttotEl,Flodel1112/VikttotEl,...
    Flodel1113/VikttotEl,Flodel1114/VikttotEl,Flodel1115/VikttotEl,...
    Flodel1116/VikttotEl,Flodel1117/VikttotEl,Flodel1118/VikttotEl,...
    Flodel1119/VikttotEl,Flodel11110/VikttotEl,Flodel11111/VikttotEl,...
    Flodel1121/Vikttot,Flodel1122/Vikttot,Flodel1123/Vikttot,...
    Flodel12/VikttotEl,Flodel121/VikttotEl,Flodel122/VikttotEl,...
    Flodel123/VikttotEl,Flodel131/VikttotEl,Flodel132/Vikttot,...
    Flodel1311/VikttotEl,Flodel1312/VikttotEl,Flodel1313/VikttotEl,...
    Flodel1314/VikttotEl,Flodel1315/VikttotEl,Flodel1321/Vikttot,...
    Flodel1322/Vikttot,Flodel1323/Vikttot,Flodel14/VikttotEl,...
    Flodel141/VikttotEl,Flodel142/VikttotEl,Flodel151/VikttotEl,...
    Flodel152/Vikttot,Flodel1511/VikttotEl,Flodel1521/Vikttot,...
    Flodel1522/Vikttot,Flodel1523/Vikttot,Flodel16/VikttotEl,...
    Flodel161/VikttotEl,Flodel17/VikttotEl,Flodel171/VikttotEl,...
    Flodel18/VikttotEl,Flodel181/VikttotEl,Flodel19/VikttotEl,...
    Flodel191/VikttotEl,Flodel192/VikttotEl,Flodel193/VikttotEl];

%Tar ut hur mycket energi det går åt i HH av den totala (per vikt), dvs
%Nyckeltal 2
Nyckeltal2=(sum(energiHH)/ViktHHtotEl)/((sum(elkwh)+123*18)/VikttotEl);

%Tar ut hur mycket värmeenergi som går till övrig verksamhet per vikt, dvs
%Nyckeltal 5 i [kWh/ton]
OvrigEnergi=(TotalEnergiAtgang-Qverk-(EnergiVVXRK2/0.6))/Vikttot;

%Tar ut hur mycket värmeenergi som försvinner med rötresten, dvs Nyckeltal
6
%[kWh]
Spillvarme=EnergiForlustRotrestTillford/Vikttot;

```


SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energi och teknik

SLU
Department of Energy and Technology
Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000